

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS - CAMPUS DE CURITIBANOS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

Nádia da Silva

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE RESÍDUOS DE  
INDÚSTRIAS DE PAPELÃO**

**Curitibanos**

**2017**

Nádia da Silva

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE RESÍDUO DE  
INDÚSTRIAS DE PAPELÃO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.  
Orientador: Prof. Dr. Joni Stolberg  
Coorientadora: Prof. Dra. Julia Carina Niemeyer.

**Curitibanos**

**2017**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Nádia da  
CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE RESÍDUO  
DE INDÚSTRIAS DE PAPELÃO / Nádia da Silva ; orientador,  
Joni Stolberg, coorientadora, Julia Niemeyer, 2017.  
57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Resíduos empresas de  
papelão. 3. Caracterização dos resíduos. 4. Avaliação  
ecotoxicológica. I. Stolberg, Joni. II. Niemeyer, Julia.  
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Florestal. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Coordenação do Curso de Engenharia Florestal  
Rodovia Ulysses Guimarães km 3  
CEP: 89520-000 - Curitiba/SC  
TELEFONE: (048) 3721-4170 E-mail: [engenharia.florestal@ufsc.br](mailto:engenharia.florestal@ufsc.br)

---

NÁDIA DA SILVA

## CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE RESÍDUOS DE INDÚSTRIAS DE PAPELÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitiba/SC, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Joni Stolberg  
Coorientadora: Profª. Dra. Julia Niemeyer

Data da Defesa: 27/06/2017

### MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

  
Presidente e Orientador: Prof. Dr. Joni Stolberg  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário de Curitiba/SC

  
Membro Titular: Prof. Dra. Julia Niemeyer  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário de Curitiba/SC

  
Membro Titular: Prof. Dr. Magnus Alan Vivian  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário de Curitiba/SC

  
Membro Titular: Prof. Dr. Antônio Lunardi Neto  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário de Curitiba/SC

Local: Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus de Curitiba/SC  
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar ao meu lado em todos os momentos de dificuldades, mas também nos momentos de alegrias e por me dar forças para chegar ao fim desta caminhada.

A meu pai Amarildo da Silva e minha mãe Eracema da Silva pelo apoio, carinho e amor dedicados a mim e principalmente pelo incentivo em todos os momentos. A minha irmã Neila da Silva e meu cunhado Claudiomir dos Santos pelo apoio e ajudas durante essa jornada.

Aos amigos feitos durante a caminhada em especial a Luciane Teixeira Stanck e Patricia Graosque Ulguim Zuge pela amizade, risadas, apoio, incentivo e companheirismo durante todos esses anos. Ao meu namorado Fabrício Pereira dos Santos pelo apoio, carinho e compreensão nessa reta final.

Aos meus orientadores Joni Stolberg e Júlia Niemeyer pelos ensinamentos, conselhos e paciência. E a todos os demais professores que deram o melhor de si e se tornaram verdadeiros mestres.

Por fim agradeço a tudo e todos que tornaram essa caminhada tão especial. Muito obrigada!

## RESUMO

A produção de papelão é geradora de resíduos, caso a disposição final desses resíduos seja feita de maneira inadequada ocasionará contaminação do solo e das águas. Através da Ecotoxicologia pode-se prever impactos futuros da disposição desses resíduos num determinado ambiente. Considerou-se importante a avaliação dos resíduos das empresas de papelão para conhecer seus riscos ao ambiente. O presente trabalho teve por objetivo caracterizar a composição dos resíduos de empresas de papelão e avaliar sua ecotoxicidade. O estudo foi conduzido na Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Ciências Rurais, Campus de Curitibanos. Primeiramente realizou-se um levantamento e seleção no Estado (SC) de empresas que produzem papelão e utilizam aparas de papel como matéria-prima. Para a caracterização dos resíduos foram determinados os teores de umidade, de cinzas e de lignina pelo método de Klason e o de celulose por reação com ácido nítrico, essas determinações foram realizadas em triplicatas para cada um dos resíduos. Para a avaliação da ecotoxicidade realizou-se o ensaio de fuga com minhocas, em que se testou uma mistura de 80 t/ha de resíduos, os resíduos brutos e o controle com solo de Pinus; no ensaio de reprodução de colêmbolos foram testados os resíduos brutos, 80 t/ha, solo de Pinus e SAT, com esses mesmos tratamentos realizou-se o ensaio de reprodução de minhocas e o teste germinação com sementes de alface com elutriato foi realizado em diluições do elutriato nas proporções de 100, 75, 50, 25 e 0%. Das empresas contatadas apenas sete nos responderam e duas tiveram seus resíduos estudados. Na caracterização os Resíduos 1 e 2 apresentam em suas composições respectivamente uma umidade de 87,23 e 60,80%, de cinzas 1,63 e 35,53% e celulose de 59,34 e 66,78%. A lignina foi determinada apenas para o Resíduo 1 que apresentou 3,35%. A partir do teste de Fisher ( $p < 0,05$ ), observamos que nenhum dos tratamentos apresentou fuga dos organismos. Para a reprodução de colêmbolos através da ANOVA seguida do teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), observou-se para o Resíduo 1 uma reprodução superior no tratamento de 80 t/ha em relação ao solo do Pinus e para o Resíduo 2 uma reprodução superior no resíduo bruto comparado ao solo de Pinus. O ensaio de reprodução de minhocas não foi validado. Até o momento percebe-se que o aumento do pH do solo com a adição dos resíduos no solo de plantios de pinus, pode favorecer a sobrevivência e reprodução da fauna do solo, porém o ensaio de reprodução com oligoquetas devem ser realizados para confirmar esta tendência. A partir da ANOVA seguida do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) o ensaio de germinação não apresentou toxicidade em nenhum dos tratamentos, já o Resíduo 1 com elutriato nas diluições de 100, 75 e 50% apresentou toxicidade no crescimento de raízes diferentemente do Resíduo 2 que não apresentou toxicidade. Devido ao ensaio com sementes de *L. sativa* para o Resíduo 1 ter apresentado toxicidade em algumas diluições do elutriato não indicamos a aplicação dos resíduos no solo sem mais estudos.

**Palavras-chave:** Empresas de papelão. Lodo de ETE. Caracterização. Ecotoxicologia terrestre.

## ABSTRACT

The production of cardboard is waste maker; if the final disposal of this waste is done in an inadequate way, it will cause soil and water contamination. Through the Ecotoxicology, it is possible to predict future impacts on the waste disposal in certain environments. The evaluation of waste in cardboard companies is important to know its risks to the environment. The present work aimed to characterize the waste composition of cardboard companies and to evaluate its ecotoxicity. The study was conducted in the Federal University of Santa Catarina/ Rural Sciences Center, Campus of Curitibanos. First, a survey and selection of companies in the State (SC) that produce cardboard and use paper trimming as feedstock was conducted. For the characterization of the waste it was determined moisture, ashes and lignin content by the Klason method and the cellulose content by the reaction to nitric acid. These determinations were made in triplicates to each of the waste. For the evaluation of ecotoxicity it was made a leak test with worms, in which it was tested a mixture of 80 t/ha of waste, the gross waste and the pinus soil control in the reproduction survey of collembolan the gross waste were tested, 80 t/ha, pinus soil and SAT. The worms' reproduction survey was made with the same treatments and the germination test with seed of lettuce with elutriate was made in the proportions of 100, 75, 50, 25 and 0%. From the contacted companies only seven answered and two had the waste studied. In the characterization of Waste 1 and 2 it's showed in their composition respectively a moisture of 87,23 and 60,80%, ashes 1,63 and 35,53% and cellulose of 59,34 and 66,78% and the lignin was determined only for waste 1, that presented 3,35% of lignin. From the Fisher test ( $p < 0,05$ ), it was possible to observe that none of the treatments presented organism leak. For the collembolan through ANOVA followed from the Dunnett test ( $p < 0,05$ ), it was observed to Waste 1 a greater reproduction in the treatment of 80 t/ha in relation to Pinus soil and for Waste 2 a greater reproduction in the gross waste compared to Pinus soil. The worms leak test was not validated. Up to the moment, it is noticeable that the soil pH rise with addition of waste in the soil of pinus planting can favor the survival and reproduction of the soil fauna, but the reproduction survey with oligochaetes must be made to confirm this tendency. Through the ANOVA followed by the Tukey test ( $p < 0,05$ ) the germination survey did not present toxicity in any of the treatments. But, waste 1 supernatant in the concentrations of 100, 75 and 50% presented toxicity in the roots growing, differently from the waste 2 supernatant, that did not present toxicity. Due the survey with seed of *L. sativa* for the Waste 1 has presented toxicity in some dilutions of supernatant we do not indicate the application of waste in the soil without more studies.

**Key words:** Cardboard companies. Sludge from ETE. Characterization. Terrestrial ecotoxicology.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1	SETOR DE CELULOSE E PAPEL .....	11
2.2	RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E PAPELÃO.....	12
2.3	ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE USADOS PARA AVALIAR RESÍDUOS .....	14
2.4	LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS.....	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
3.1	SELEÇÃO DAS EMPRESAS E COLETA DAS AMOSTRAS .....	21
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	22
3.2.1	Determinação da umidade .....	22
3.2.2	Determinação do teor de cinzas.....	23
3.2.3	Determinação do teor de lignina (Método de Klason).....	23
3.2.4	Determinação do teor de celulose por reação com ácido nítrico .....	25
3.3	AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS .....	26
3.3.1	Cultivo dos organismos teste .....	26
3.3.2	Preparação das misturas utilizadas nos ensaios .....	27
3.3.3	Ensaio de fuga com minhocas ( <i>E. andrei</i> ) .....	28
3.3.4	Ensaio de reprodução ou crônico de Colêmbolos ( <i>F. candida</i> ).....	29
3.3.5	Ensaio de reprodução com minhocas ( <i>E. andrei</i> ) .....	31
3.3.6	Teste da germinação de sementes de <i>L. sativa</i> L com elutriato .....	32
3.3.7	Análise dos dados .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS .....	35
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	38
4.3	AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS .....	41
4.3.1	Ensaio de fuga com minhocas ( <i>E. andrei</i> ) .....	41
4.3.2	Ensaio de reprodução ou crônico de Colêmbolos ( <i>F. candida</i> ).....	43
4.3.3	Ensaio de reprodução com minhocas ( <i>E. andrei</i> ) .....	45
4.3.4	Teste da germinação de sementes de <i>L. sativa</i> L. com elutriato .....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
	REFERÊNCIAS .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades industriais geram resíduos sólidos, de diferentes características e quantidades, que precisam ser gerenciados adequadamente para não causar poluição ambiental e danos à saúde do homem. Por muito tempo as práticas de manuseio consistiam apenas em jogar os resíduos o mais longe possível da fonte geradora sem se preocupar com os efeitos decorrentes dessas ações (SIMIÃO, 2011).

Alguns dos resíduos industriais causam poluição ambiental e acabam por gerar graves problemas socioeconômicos e ambientais. Envolvem-se nesse problema a geração, o acondicionamento, o manuseio, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final (JACOMINO; RIBEIRO; CASTRO, 2002). A contaminação do solo e das águas podem ocorrer quando a disposição final de resíduos é feita de maneira inadequada, possibilitando que poluentes afetem o meio ambiente quando arrastados com a água ou solubilizados. (ZULAUF, 1977 apud RODRIGUES; PAWLOWSKY, 2007).

A produção de papel e papelão é geradora de resíduos, e os constantes aumentos na demanda da produção implicam na geração diária de grande quantidade deles. Em função dos diferentes processos tecnológicos e da qualidade das aparas de papel, esses resíduos vêm provocando grande preocupação ambiental (MORO; GONÇALVES, 1995).

Com o panorama mundial e a política industrial voltada para o meio ambiente, a busca de alternativas para soluções dos resíduos vem ganhando campo experimental principalmente pela busca do “ciclo-fechado”, onde o resíduo de uma empresa torna-se matéria-prima para outra. Com a reciclagem do papel evita-se a necessidade da produção do papel a partir da celulose, porém mesmo em empresas de reciclagem a geração de resíduos também é evidente. Nestas empresas ocorre a geração de resíduos sólidos em elevada quantidade e volume, ocorrendo um problema para as mesmas. O alto custo de transporte e a dificuldade de gerenciamento afetam diretamente no setor financeiro das empresas (CAVALCA, 2010).

O lodo primário gerado nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's) das indústrias de celulose e papel tem como destino final mais empregado o aterro sanitário. A destinação de resíduos em aterros sanitários, embora ambientalmente aceita, é uma opção pouco sustentável e onerosa. Como o volume dos resíduos vem crescendo constantemente nas fábricas, elas estão buscando alternativas para utilização do lodo principalmente como matéria-prima em outras tipologias industriais. A construção civil e a agricultura são os setores que mais apresentam potencial de aproveitamento do lodo primário de ETE's de fábricas de papel (PINHEIRO, 2008).

Sob o ponto de vista agrícola existem algumas vantagens do uso de resíduos nos solos como por exemplo, o fornecimento de nutrientes neles contidos, benefícios ligados ao seu conteúdo orgânico, que pode manter, ou mesmo elevar, o teor de matéria orgânica do solo. Entretanto, na mesma proporção com que são enfatizadas as vantagens agrícolas, não se pode esquecer que, geralmente os nutrientes presentes nos resíduos estão em proporções desbalanceadas para a nutrição vegetal, não se conhece a eficiência do resíduo no fornecimento desses nutrientes e não se conhece qual a composição e quais as características do material orgânico contido no resíduo. Além disso, existe ainda, a possibilidade de elementos e/ou substâncias potencialmente tóxicas, orgânicas ou inorgânicas, estarem presentes nos resíduos (PIRES; MARTINAZZO, 2008).

Por meio da Ecotoxicologia pode-se avaliar os danos ocorridos nos diversos ecossistemas após a contaminação e também prever impactos futuros, quando da disposição de produtos químicos e/ou resíduos num determinado ambiente. Para a validação de uma resposta ecotoxicológica é necessária a padronização do organismo e de sua resposta à variação da relação concentração-resposta, que pode ser em relação à sobrevivência, crescimento ou reprodução do organismo (BASILE, 2008).

Segundo Marion (2011) os estudos ecotoxicológicos com organismos terrestres descrevem a relação entre os poluentes químicos e o ambiente em que são liberados, bem como a biota presente naquele ambiente, pois somente através das análises químicas e físicas de um composto não dá para saber se causa risco ou não aos organismos terrestres.

A partir disso, considera-se importante avaliar a toxicidade do resíduo das empresas de papelão para conhecer se há risco ao meio ambiente. O estudo se faz importante ainda, pelo fato de que ao final da realização do mesmo será possível saber se o destino que as empresas de papelão que tiverem seus resíduos avaliados estão dando aos mesmos é adequado ou não.

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar os resíduos de indústrias de papelão, através da determinação da umidade, cinzas, lignina e celulose presentes nos resíduos e avaliar sua ecotoxicidade com ensaios laboratoriais normatizados para invertebrados e plantas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Em 2015, a produção brasileira de celulose, considerando-se processo químico de fibra curta (eucalipto) e longa (pinus) e pasta de alto rendimento, foi de 17,4 milhões de toneladas, montante 5,5% superior ao de 2014. O volume exportado atingiu 11,5 milhões de toneladas, representando um incremento de 8,6% em relação a 2014. Considerando uma importação de 400 mil toneladas, o volume consumido no mercado interno atingiu 6,3 milhões de toneladas, ficando praticamente estável em relação ao ano anterior. Com esses resultados, o Brasil consolidou sua posição no mercado mundial da “commodity”, ocupando o 4º lugar no ranking de maiores produtores (IBÁ, 2016).

A produção brasileira de papel, em 2015, totalizou 10,4 milhões de toneladas; 0,4% menor do que no ano anterior. A principal razão desse fraco desempenho foi a retração das vendas domésticas, que ficaram 4,7% abaixo do volume registrado em 2014. Enquanto as produções de papéis de embalagem e de papéis especiais aumentaram, respectivamente, 1,8% e 2,5%, os volumes de produção de tissue, papel cartão, papel imprensa e de imprimir e escrever apresentaram retrações de 0,7%, 1,6%, 6,7% e 4,7%. A indústria nacional de papel ocupa a 9ª posição no ranking internacional dos maiores produtores. Os principais produtos desse segmento compõem o mercado de embalagens, de produtos de higiene e beleza e de papéis para imprimir e escrever (IBÁ, 2016; ABRAF, 2013).

No Brasil o consumo aparente per capita de papel é de 48,6 kg, o país com maior consumo é a Finlândia com 280,6 kg. A média mundial de consumo aparente per capita de papel é de 57,0 kg (BRACELPA, 2011).

Em tempos recentes, a reciclagem de papel vem apresentando um destaque crescente, na medida em que contribui para a preservação e conservação do meio ambiente e para a solução da questão da destinação dos lixos urbanos. Um tipo característico de material reciclado para a produção de papel são as Aparas (SÉKULA, 2011).

Uma tonelada de aparas pode evitar o corte de 10 a 12 árvores provenientes de reflorestamentos e o uso de aparas para a reciclagem leva à economia de insumos, em especial da água utilizada nos processos de produção a partir da celulose. No Brasil, apenas 37% do papel produzido vai para a reciclagem. De todo o papel reciclado, 80% é destinado à

confeção de embalagens, 18% a papéis sanitários e apenas 2% à impressão (BRACELPA, 2011).

## 2.2 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E PAPELÃO

Segundo De Marco (2011), resíduo é o resultado de processos de diversas atividades da comunidade e pode ser classificado, de acordo com sua origem em: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e ainda da varrição pública.

Os processos industriais podem gerar resíduos nos estados sólido, líquido e gasoso. Todos merecem cuidado, porém os de origem sólida, que apresentam reatividade e ocupam grande espaço físico, devem receber um cuidado especial. Existem três técnicas principais para tratamento dos resíduos sólidos: incineração, redução da toxicidade para que possam ser utilizados para alguma finalidade, como serem distribuídos no solo na forma de adubação, e também a simples disposição no solo. Esta última depende de fatores geográficos, geológicos e climáticos, além da potencialidade de reaproveitamento (ALMEIDA et al., 2007).

Para Santos (2012) os resíduos gerados pelas atividades dos ramos industriais, tais como metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia, entre outras são resíduos muito variados que apresentam características diversificadas, podendo ser representados por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas, etc. Estes resíduos são em sua grande maioria considerados tóxicos e necessitam de tratamento adequado antes de sua disposição final.

O setor de papel e celulose é altamente dependente de recursos naturais como fibras vegetais, energia e água. O consumo desses recursos é intenso principalmente nos processos de descascamento (quando este é feito a úmido), lavagem, depuração e limpeza da pasta celulósica, e branqueamento. O setor é também um grande gerador de resíduos, sendo considerado uma importante fonte de poluentes do ar, água e solo e por isso atualmente o setor vem gerando muita preocupação (MIRANDA, 2008).

Os principais resíduos gerados nas indústrias de papel e celulose são: a casca da madeira, a lama de cal, o lodo da estação de tratamento de esgoto, o lodo biológico, a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa, o resíduo celulósico, o “dregs”, o “grits”, sendo estes dois últimos resíduos que resultam do processo de recuperação de químicos no processo de fabricação do papel (NOLASCO et al., 2000 apud DE MARCO, 2011).

A transformação ou reciclagem de papel em novos produtos a serem comercializados, como, por exemplo, papel higiênico e papel toalha, papel ondulado, gera resíduos,

denominados de lodo de ETE. A produção desses resíduos ocorre a partir da perda de fibra de celulose e principalmente remoção da carga mineral contida nas aparas de papel durante o processo de reciclagem. A composição química dos resíduos é afetada pelo tipo de apara que chega à indústria, sendo que as aparas podem ser divididas em dois grupos: apara natural (jornais, revistas, papelão) e apara branca (folhas brancas de papel) (BALBINOT JUNIOR et al., 2006).

O lodo de aparas apresenta característica de uma massa fibrosa de cor acinzentada, sendo classificado como um resíduo de classe IIA – não inerte (ABNT, 2004b). A maioria das indústrias produtoras do lodo de aparas tem adotado os aterros como alternativa de disposição final. No entanto, essas mesmas indústrias vêm buscando alternativas de uso mais nobres para seus resíduos, como a reciclagem dentro do próprio processo, além do tratamento e/ou classificação para serem utilizados como insumos em outros processos e produtos, com o intuito de evitar ou reduzir passivos ambientais (BALBINOT JUNIOR et al., 2006).

O uso desses resíduos na agricultura tornou-se bastante comum devido à capacidade do solo de inativar quimicamente alguns compostos, como os metais por exemplo, que são retirados da solução do solo e retidos pela fase sólida por mecanismos de sorção (ALMEIDA et al., 2007). Segundo Martins et al. (2011) o solo possui uma grande capacidade de retenção de metais-traço, esses metais são tidos como aqueles elementos com densidade superior a 5 mg/cm<sup>3</sup> e número atômico maior que 20. Esses elementos podem vir a constituir uma fonte potencial para a poluição ambiental, porém, a definição de metais-traço engloba metais, semi-metais e até mesmo não metais, sendo que alguns são biologicamente essenciais, tais como Co, Mn, Zn, Cu, B e Se, que podem ser tóxicos quando a concentração destes elementos for superior aos níveis de tolerância dos seres vivos.

Segundo Almeida et al. (2007) surgiram novos sistemas de tratamentos, que reduzem sensivelmente o potencial poluidor dos resíduos, o uso agrícola, seja como fonte de nutrientes para as plantas ou como corretivo da acidez do solo, dependendo da composição química dos mesmos, tem-se tornado uma alternativa barata e interessante na preservação da qualidade ambiental. No entanto, ao se recomendar tal utilização, é necessário estudar possíveis alterações que possam ocorrer nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo, bem como a resposta das plantas a tais produtos.

De acordo com Ferreira (2012) o desenvolvimento de compostos com potencial aplicação em diferentes tipos de componentes é de grande interesse para o setor industrial e para a sociedade. Do ponto de vista tecnológico e social, resulta em novos materiais baseados em modelos mais sustentáveis e com menor custo de produção e, sob a ótica ambiental,

contribuiu com a redução do volume disposto em aterros (diminuindo os riscos de contaminação do solo e degradação da paisagem urbana).

Para Paiva (2007) a construção civil é um dos setores com maior potencial para aproveitamento de resíduos industriais em função de características como: ampla atuação em todo território nacional; grande diversidade e quantidade de matérias-primas utilizadas; escassez de matérias-primas tradicionais; diferentes níveis tecnológicos para a produção de materiais; além do alto custo associado aos mesmos; e crescimento urbano acelerado, com grande déficit habitacional. Estas características estabelecem inclusive um nicho de mercado diferenciado para produtos competitivos e de qualidade.

Souza et al. (2001) citam que a compostagem também surge como um uso nobre para o lodo de aparas, sendo a compostagem um processo biológico de transformação de resíduos orgânicos em substâncias húmicas. Em outras palavras, a partir da mistura de resíduos (matérias-primas), obtêm-se, no final do processo, um adubo orgânico homogêneo, sem cheiro, de cor escura, estável, solto, pronto para ser usado em qualquer cultura sem causar dano e proporcionando uma melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

### 2.3 ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE USADOS PARA AVALIAR RESÍDUOS

A ecotoxicologia pode ser entendida com a junção de ecologia e toxicidade. Por ecologia se entende o estudo da interação dos seres vivos entre si e com o meio ambiente em que vivem; e a toxicologia como uma ciência que procura entender os tipos de efeitos causados por substâncias químicas, bioquímicas e os processos biológicos responsáveis por tais efeitos, levando em conta a sensibilidade de diferentes tipos de organismos à exposição de substâncias químicas e as relativas toxicidades de diferentes substâncias. Logo o objetivo da ecotoxicologia é então entender e prever efeitos de substâncias químicas em seres vivos e comunidades naturais. Por conta disso foram criados protocolos padronizados para avaliar os efeitos de substâncias químicas e misturas tóxicas sobre os organismos (CHAPMAN, 2006; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

Ensaio ecotoxicológicos são comumente empregados na avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como no estabelecimento de relações entre concentrações de agentes tóxicos no ambiente e efeitos adversos à saúde da flora e da fauna (CESAR et al., 2013).

Organismos-teste utilizados nos ensaios ecotoxicológicos são espécies mantidas em laboratório e cujos conhecimentos de sua biologia são suficientes para que possam ser

utilizadas como indicadores da toxicidade de agentes químicos, efluentes ou resíduos no ambiente. Tanto a forma de cultivo como as metodologias de ensaio para estes organismos são definidas em normas técnicas, permitindo a reprodutibilidade dos resultados. Esses organismos devem possuir uma relativa sensibilidade aos compostos presentes no ambiente. Teoricamente, no momento em que a toxicidade do efluente for reduzida e, desta forma, este não afetar os organismos-teste, as diferentes espécies presentes no ambiente ficam protegidas (ARENZON; PEREIRA NETO; GERBER, 2011).

No caso dos solos, minhocas da espécie *Eisenia andrei* são amplamente empregadas em bioensaios, visto que os oligoquetos compõem a maior parte da biomassa de fauna de solo, são abundantes em solos tropicais e temperados, ingerem grande quantidade de solo, são de simples cultivo em laboratório e sensíveis à presença de xenobióticos (NAHMANI, HODSON; BLACK, 2007). As hortaliças da espécie *Lactuca sativa* L. são também bastante utilizadas em bioensaios agudos de germinação, pois necessitam de curto período de tempo para o brotamento (CESAR et al., 2013).

O uso de organismos edáficos, por exemplo os colêmbolos como indicadores da qualidade do solo (bioindicadores), está principalmente relacionado aos fatos de serem organismos sensíveis às perturbações antrópicas, estarem correlacionados com inúmeras funções do solo, serem de fácil estimativa e representarem muito bem o ambiente que promovem (BARETTA et al., 2011).

A mesofauna do solo que inclui organismos como os ácaros (Acari), colêmbolos (Collembola), diplura, protura, enquitreídeos, sínfilos, pseudo-escorpiões e outros animais que se alimentam principalmente de matéria orgânica em decomposição, fungos e outros organismos menores (especialmente nematóides e protozoários). A mesofauna do solo tem sua atuação concentrada principalmente na fragmentação de resíduos vegetais da serapilheira, o que aumenta a superfície de contato para o ataque de microrganismos, aumentando a taxa de decomposição e liberação de nutrientes para o solo (MELLO et al., 2009). Já a macrofauna compreende as minhocas, cupins, formigas, centopéias, piolhos de cobra, baratas, aranhas, tesourinhas, grilos, caracóis, escorpiões, percevejos, cigarras, tatuzinhos, traças, larvas de mosca e de mariposas, larvas e adultos de besouros, e outros animais, que podem ser consumidores de solo (geófagos), partes vivas das plantas (fitófagos), matéria orgânica do solo (humívoros), serapilheira (detritívoros), madeira (xilófagos), raízes (rizófagos), outros animais (predadores, parasitas, necrófagos) e fungos (fungívoros) (BROWN et al., 2001).

A atividade dos animais edáficos pode afetar uma gama de processos ecossistêmicos que contribuem direta e indiretamente para diversos serviços essenciais para o funcionamento

sustentável dos ecossistemas terrestres. Estes serviços incluem: mudanças na estrutura e agregação do solo; efeitos no crescimento das plantas, produção de biomassa vegetal e animal; produtos farmacêuticos; ciclagem de nutrientes e dinâmica da decomposição da matéria orgânica, inclusive sequestro de carbono; troca de gases entre o solo e a atmosfera; pedogênese; conservação da biodiversidade; controle de erosão e enchentes; polinização (principalmente por insetos); dispersão de sementes; tratamento de resíduos por decomposição de resíduos ou degradação de pesticidas; recreação; e educação ambiental (BROWN et al., 2015).

A partir de 2008 no Brasil houve um esforço por parte de alguns pesquisadores especializados na ecologia e taxonomia de Oligoquetas para adaptar ensaios ecotoxicológicos para a realidade do país, permitindo dessa forma que os ensaios ecotoxicológicos pudessem ser realizados no país sem depender de normas internacionais para sua realização. Com a iniciativa deste grupo e depois de muito estudo, um livro com métodos detalhados e adaptações para ensaios ecotoxicológicos no Brasil com oligoquetas foi escrito com a colaboração de 26 pesquisadores. Outro livro descrevendo métodos para testes ecotoxicológicos com Collembola está sendo escrito por um grupo de 16 autores. Ambos escritos em português, em uma tentativa de tornar os métodos mais populares no país e para suprir as necessidades dos iniciantes no campo (BROWN et al., 2013 apud NIVA et al., 2016).

Atualmente, em português publicadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estão disponíveis sete diretrizes padronizadas sobre qualidade do solo. Com exceção da diretriz sobre toxicidade aguda com minhocas, as demais são traduções de diretrizes da Organização Internacional para Padronização - ISO, mas com uma nota recomendando o uso do solo artificial tropical. Tais traduções foram o resultado do trabalho de alguns profissionais voluntários que atuam na ecotoxicologia do solo no Comitê Especial de Análises Ecotoxicológicas, organizado pela ABNT. Desde 2014, outro Comitê Especial da ABNT sobre Resíduos Sólidos tem discutido metodologias para avaliação do risco ecológico de locais contaminados. Isso tem sido discutido como um reflexo da Resolução CONAMA 420 (BRASIL, 2009 apud NIVA et al., 2016).

Alguns testes ecotoxicológicos servem para avaliar a qualidade do solo, pelo comportamento de alguns animais da biota do solo, como as minhocas, testadas por repelência a determinadas substâncias químicas. Proposto como alternativa rápida e fácil para ensaios ecotoxicológicos, o teste de fuga mostra uma resposta ecologicamente relevante porque, em algumas situações, em concentrações que não causam efeito de letalidade ou efeitos na

reprodução, podem fazer com que os organismos evitem o solo, e assim tem-se a perda da função que eles exercem (GARCIA et al., 2008).

Sisinno et al. (2006) diz que o princípio do ensaio de fuga é a exposição das minhocas simultaneamente às amostras de solo não contaminado (controle) e contaminado. Ambas as amostras são colocadas no mesmo recipiente, em seções distintas, separadas por meio de uma divisória, formando dois compartimentos. Após a organização das amostras em cada um dos lados da divisória, a mesma é retirada, formando uma linha onde 10 organismos são colocados na superfície. Ao final de 48 horas, o número de organismos é determinado em cada seção do recipiente. A amostra é considerada tóxica (com a função de hábitat do solo limitada) se forem encontrados mais de 80% do total de organismos expostos na amostra do solo controle.

Os ensaios de toxicidade crônica expõem os organismos-teste às amostras a serem testadas por um intervalo de tempo mais significativo em relação ao seu ciclo de vida (em geral, superior a 72 horas). Neles são avaliados os efeitos mais sutis, como alteração sobre a reprodução e o crescimento, além da morte dos organismos expostos, mesmo que ocorra de forma mais lenta. Quando a amostra avaliada apresenta toxicidade aguda, a morte dos organismos-teste impossibilita a observação dos efeitos crônicos (ARENZON; PEREIRA NETO; GERBER, 2011).

Muitos vegetais são utilizados para avaliação de impactos ambientais devidos as suas características nutritivas e fisiológicas, também pelo fato de que as raízes das plantas absorvem sais minerais e água, podendo estar contaminadas por metais pesados como o arsênio, o zinco e outros elementos tóxicos contidos no solo, essas estão sujeitas a grandes variedades de estresse que tendem a diminuir suas chances de sobrevivência (BAGLIANO, 2012).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é planta anual, originária de clima temperado, pertencente à família Asteracea, é umas das hortaliças mais populares e consumidas no Brasil e no mundo. A grande maioria das cultivares de alface desenvolvem-se bem em climas amenos, principalmente no período de crescimento vegetativo. A ocorrência de temperaturas mais elevadas acelera o ciclo cultural (HENZ; SUINAGA, 2009).

A alface (*L. sativa* L.) é uma espécie amplamente utilizada como planta teste nos estudos de ecotoxicidade devido a sua sensibilidade a agentes químicos, rápida germinação, crescimento linear em ampla faixa de variação de pH. Os ensaios com alface permitem que os efeitos fitotóxicos possam ser analisados através de diferentes variáveis como por exemplo,

germinação, alongamento de raiz e biomassa vegetal (GOMES et al., 2012; ARAÚJO; MONTEIRO, 2005).

Rodrigues et al. (2013) avaliaram a fototoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimentos de córrego urbano em bioensaios com *L. sativa*, as características utilizadas na avaliação da toxicidade não apresentaram interação significativa entre os fatores tratamento (pontos de coleta + controle negativo) e tempo (épocas de coleta) à exceção do comprimento de raízes de *L. sativa* exposta às amostras de água. As águas de todos os pontos de coleta reduziram a taxa de germinação de *L. sativa*.

Garcia (2016) ao estudar o lodo de flotador de abatedouro de aves na produção de biochar (biomassa carbonizada), realizou o teste de germinação da espécie *L. sativa*, esse teste foi realizado com duração de três dias de incubação. A partir do teste observou-se que o lodo de abatedouro de aves apresentou diferença significativa a 5% de significância, pelo teste de Tukey, em relação ao controle e o biochar, apresentando valor inferior na germinação, o que comprova o efeito fitotóxico inicial, já para os demais dias, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

## 2.4 LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004b), NBR 10004, os resíduos sólidos resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição e os lodos oriundos de sistemas de tratamento de água. A mesma norma ainda classifica os resíduos em: resíduos classe I - perigosos; resíduos classe II – não perigosos; resíduos classe II A – não inertes e resíduos classe II B – Inertes.

São classificados como resíduos classe I (perigosos) aqueles que apresentam periculosidade, ou seja, risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Também se encaixam nessa classe resíduos que apresentarem alguma característica de inflamabilidade, patogenicidade ou ainda estar classificado como resíduo perigoso de fonte específica ou não específica. Os resíduos classe II (não perigosos) são classificados como: resíduo de restaurante (restos de alimentos), resíduo de madeira, sucata de metais ferrosos, resíduo de materiais têxteis, sucata de metais não ferrosos (latão etc.), resíduos de minerais não-metálicos, resíduo de papel e papelão, areia de fundição, resíduos de

plástico polimerizado, bagaço de cana, resíduos de borracha e outros resíduos não perigosos (ABNT, 2004b).

Já os resíduos classe II A (não inertes) são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (perigosos) ou de resíduos classe II B (inertes), nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A (não inertes) podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. E os resíduos classe II B (inertes) são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004b).

Segundo Resolução CONAMA nº 313 (BRASIL, 2002), resíduo sólido industrial é:

[...] todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

A instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos (BRASIL, 2010).

Segundo Sisino (2003) a realidade vivida pelo setor industrial no Brasil é bastante peculiar. Apesar de o gerador ser o responsável pelo destino de seus resíduos, a escassez de informações e de alternativas disponíveis para esse fim e a carência de pessoal especializado fazem com que algumas indústrias dispensem pouca ou nenhuma atenção a tal responsabilidade. Esse descaso muitas vezes é motivado pela deficiência na fiscalização e na crença de que o tratamento ou destino adequado dos resíduos acarretará altos custos para as empresas.

Uma maneira de encontrar uma forma de disposição para os resíduos é a capacidade de avaliar o risco potencial ecotóxico associado a essa disposição, isso se torna uma ferramenta importante para evitar a contaminação dos ecossistemas. O uso de testes ecotoxicológicos para avaliar a toxicidade dos resíduos ganhou força com a Conselho Europeu Directiva 91/689 / CEE (Comunidade Européia, 1991), que inclui a propriedade

"Ecotóxico" como um dos 14 critérios que devem ser considerados quando caracterizando como resíduos perigosos para o meio ambiente. As informações obtidas a partir da análise química são muitas vezes insuficientes, porque vários poluentes relevantes e persistentes não estão incluídos e a interação entre os produtos químicos não é considerada. Para testes ecotoxicológicos ainda não há um consenso na comunidade científica sobre a bateria de testes ecotoxicológicos que devem ser adotados para caracterização de resíduos perigosos. Recentemente, estudos têm sido realizados para avaliar a utilidade e adequação de baterias de testes padronizados destinados à caracterização dos resíduos (NATAL-DA-LUZ et al., 2009).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 SELEÇÃO DAS EMPRESAS E COLETA DAS AMOSTRAS

O estudo foi conduzido na Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Ciências Rurais, localizado no município de Curitibanos, região do Planalto Catarinense. Primeiramente realizou-se um levantamento no Estado de Santa Catarina a fim de se identificar empresas que atuam na produção de papel e papelão que tem seus processos de produção semelhantes e que ao final do processo gerem resíduo sólido.

A seleção das empresas de papelão foi realizada tendo em vista as empresas que produzem papelão utilizando aparas de papel e que ao final do processo tenham como resíduo lodo da Estação de Tratamento de Efluentes, que fossem de fácil acesso e que possuíssem de médio a grande porte.

O levantamento das empresas foi feito a partir de um contato com o SINPESC (Sindicato das Indústrias de Celulose e Papel de Santa Catarina) que forneceu uma lista de empresas vinculadas ao sindicato, esta lista continha o nome da empresa, o município onde se encontrava instalada, nome dos responsáveis pela empresa, os números telefônicos e meios eletrônicos de cada uma das empresas.

Além das empresas que o SINPESC nos indicou, entrou-se em contato com algumas empresas do município de Curitibanos e proximidades, que não estavam vinculadas ao sindicato, mas que se tinha o conhecimento de que possuíam as características que eram procuradas. A comunicação com as empresas foi feita a partir de telefonemas ou e-mails, em alguns casos após telefonemas e e-mails foi possível ir até a empresa e conversar com seus responsáveis, para expor a ideia do trabalho.

Como o objetivo do trabalho era usar lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de empresas de papelão que usassem como matéria-prima aparas de papel, pediu-se para as empresas que respondessem algumas perguntas, a fim de selecionar as que participariam da pesquisa. As perguntas que mais interessavam ao trabalho eram: a) quais as matérias-primas utilizadas na produção; b) se ao final do processo é gerado lodo de ETE e c) qual o destino que a empresa dá a seus resíduos.

A coleta das amostras foi realizada em montes do resíduo, diretamente nas empresas, segundo a NBR 10007 (ABNT, 2004a). As amostras foram coletadas com o auxílio de uma pá vários pontos do monte ou local onde se encontrava o resíduo.

As amostras foram colocadas em sacos plásticos e ao se chegar na universidade foram levadas ao laboratório, onde se fez uma amostra composta do resíduo. Após a mistura as amostras foram colocadas em sacos plásticos grandes, identificadas e armazenadas sob refrigeração.

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

### 3.2.1 Determinação da umidade

Conforme Klock et al. (2005) primeiramente foi realizado o aquecimento das cápsulas de porcelana em uma estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 horas, após esse período de aquecimento as cápsulas foram transferidas da estufa para o dessecador. As cápsulas ficaram em torno de meia hora no dessecador período esse necessário para que as mesmas resfriassem, depois do resfriamento as cápsulas foram pesadas em balança analítica.

Posteriormente foram pesadas 2g de cada amostra diretamente nas cápsulas, previamente taradas, as quais foram secas em estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  durante 48 horas. Após o período de secagem as cápsulas foram transferidas para o dessecador para o resfriamento das mesmas, em seguida se fez as pesagens das cápsulas em balança analítica, se realizou esse procedimento por várias vezes a fim de se obter o peso constante, para isso as amostras são aquecidas por períodos de 2 horas e se pesa novamente repetindo-se esse procedimento por várias vezes até obtenção do peso constante.

Após a obtenção do peso constante calculou-se a umidade em porcentagem, cálculo este realizado a partir da Equação 1:

$$U = \left( \frac{P_u - P_s}{P_u} \right) \times 100 \quad (1)$$

Na equação 1, U representa a umidade que é expressa em porcentagem do peso inicial da amostra,  $P_u$  representa o peso úmido da amostra e  $P_s$  o peso seco da amostra. Os resultados em triplicata não devem diferir mais do que 0,2% se conveniente.

### 3.2.2 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas determina a quantidade de material inorgânico presente nos compostos na forma de óxidos.

A determinação foi realizada segundo Klock et al. (2005). Inicialmente os cadinhos foram encaminhados para calcinação em forno mufla a  $525^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  por 60 minutos. Após o tempo de calcinação os cadinhos foram retirados da mufla e deixados em dessecador por aproximadamente 30 minutos para o resfriamento dos mesmos; posteriormente ao resfriamento efetuou-se a pesagem em balança analítica e sendo os pesos anotados ( $P_c$ ).

Em cada cadinho foram pesadas 2g da amostra do resíduo; os cadinhos com as amostras foram colocados na mufla a  $525^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  por 3 h. Dessa massa foi retirada a umidade calculada anteriormente para obtenção do Peso da Amostra Seca ( $P_{as}$ ). Após a combustão das amostras a mufla foi fechada; aguardou-se então por 3 horas para que o material orgânico das amostras fosse totalmente incinerado.

Posteriormente à total incineração do material orgânico das amostras os cadinhos foram retirados da mufla e colocados diretamente no dessecador, onde aguardou-se aproximadamente 30 minutos para o resfriamento das amostras e então realizou-se a pesagem das mesmas em balança analítica ( $P_{ac}$ ); o procedimento foi realizado em triplicata, seguindo a norma NBR 13999 (ABNT, 2003).

Por fim pode-se então calcular o teor de cinzas conforme a Equação 2:

$$Tc = \left( \frac{P_{ac} - P_c}{P_{as}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde  $T_c$  é o teor percentual de cinzas da amostra,  $P_{ac}$  o peso das amostras após a combustão,  $P_c$  representa o peso do cadinho e  $P_{as}$  o peso da amostra seca.

### 3.2.3 Determinação do teor de lignina (Método de Klason)

Segundo Abreu et al. (2006) o método para a determinação de lignina segue os seguintes passos: primeiramente se pesa em balança analítica 0,5 g da amostra do resíduo seco anteriormente, as amostras devem ser transferidas para um béquer pequeno de 50 ou 100 mL. Aos béqueres com as amostras são adicionados 8 mL de ácido sulfúrico (72%), isso deverá ser feito mexendo a pipeta, porém deve-se evitar que o material fique na borda do recipiente. A

cada 15 minutos a mistura deve ser agitada mantendo o ácido em contato com a amostra durante 2 horas.

Após as 2 horas as misturas ácido/amostra deverão ser transferidas para erlenmeyers de 500 mL onde serão adicionados também 250 mL de água destilada quente. Os erlenmeyers devem ser colocados em banho maria por 6 horas (Figura 1). Logo após o banho maria as misturas devem ser filtradas com um funil com papel de filtro (previamente pesado).

Figura 1 - Mistura ácido sulfúrico e amostra do resíduo e erlenmeyers com as misturas (ácido/amostra) e água destilada em banho maria.



Fonte: A autora.

Após as soluções serem filtradas o material sólido resultante das filtragens devem ser lavados com 3 porções de 50 mL de água destilada. O resíduo resultante das filtragens (amostra mais papel filtro) devem ser levados em vidros relógios para a secagem na estufa ( $105 \pm 3^\circ\text{C}$ ) por um período de 24 horas. Após esse período de secagem os vidros relógios com as amostras devem ser colocados em um dessecador para que o material esfrie, após o resfriamento o material final deve ser pesado em balança analítica. Esse procedimento para a determinação de lignina foi realizado em triplicata.

Tal procedimento foi realizado para o resíduo de cada umas das empresas, sendo então dois tratamentos, sendo que cada tratamento contava com três repetições.

A partir disso pode-se então determinar o percentual de lignina na amostra original, com a Equação 3:

$$Tl = \frac{P_{sr}}{P_{as}} \times 100 \quad (3)$$

Onde Tl é o teor de lignina presente na amostra, P<sub>sr</sub> representa o peso seco do resíduo e P<sub>as</sub> o peso da amostra original seca.

### 3.2.4 Determinação do teor de celulose por reação com ácido nítrico

Inicialmente realizou-se o refluxo de 5g do resíduo seco durante uma hora em 250 mL de uma solução de ácido nítrico (densidade 1,4). A preparação da solução foi feita em capela, na proporção de 100mL de água e 25mL de ácido nítrico, o procedimento foi realizado segundo Abreu et al. (2006).

Posteriormente a esse período de refluxo, o material foi filtrado e aquecido com 250 mL de água destilada durante 30 minutos.

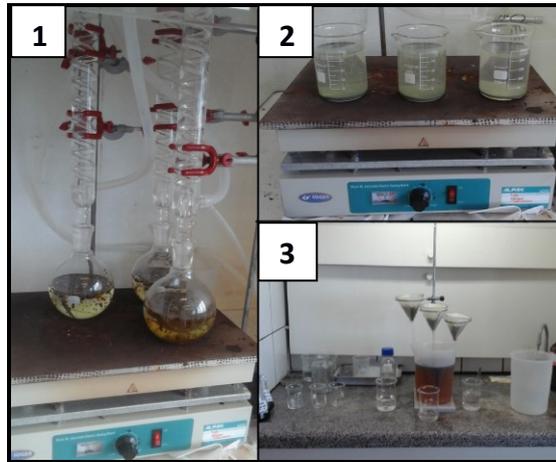
Após o período de aquecimento foi realizada a extração do resíduo de celulose do material com 250 mL de uma solução aquosa de NaOH (4%), esse período de extração leva aproximadamente 40 minutos.

Depois dos 40 minutos o resíduo extraído foi lavado com água destilada, depois com ácido acético e novamente com água. Posteriormente à lavagem o resíduo foi levado à estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  até que ficasse completamente seco; após seco o material foi pesado em balança analítica. Esse procedimento foi realizado em dois tratamentos, cada tratamento correspondendo ao resíduo de uma das empresas e para cada um dos tratamentos foram realizadas três repetições. O teor de celulose foi obtido através da Equação 4:

$$TCe = \frac{Pae}{Ps} \times 100 \quad (4)$$

Onde TCe representa o teor de celulose presente no resíduo, Ps é o peso da amostra inicial seca e Pae é o peso da amostra após a extração.

Figura 2 - Extração de celulose: Refluxo das amostras em ácido nítrico (1), aquecimento do material resultante do refluxo em água destilada (2) e filtragem e neutralização com água destilada e ácido acético (3).



Fonte: A autora.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS

#### 3.3.1 Cultivo dos organismos teste

Realizou-se a criação das minhocas da espécie *E. andrei* em uma câmara climática a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Nesta temperatura, e com o fornecimento de alimentação suficiente, as minhocas se tornam adultas dentro de dois a três meses. Para obtenção de minhocas com idade e tamanho padronizados, deve-se começar os cultivos com casulos. As minhocas foram alimentadas semanalmente com dejetos de bovinos e transferidas para substratos frescos mensalmente. As minhocas que eclodem dos casulos são utilizadas para os testes quando apresentam entre dois e 12 meses de idade, e com clitelo desenvolvido, sendo consideradas adultas.

O meio recomendado para a criação das minhocas é uma mistura de estrume de bovinos desfaunado e pó de casca de côco, na proporção de 50:50. O estrume deve ser de bovinos que não foram sujeitos a medicações ou tratamentos, pois caso haja resíduos de medicamentos no estrume pode afetar as minhocas de forma adversa durante o teste. O meio de cultivo deve ter um valor de pH entre 6 a 7 aproximadamente (ajustado com carbonato de cálcio), uma baixa condutividade elétrica (menor do que 6 ms ou 0,5% de concentração de sais) e não deve ser excessivamente contaminado com amônia ou urina animal. O substrato deve estar úmido, mas não muito molhado. Os cultivos foram realizados em caixas plásticas com capacidade de 10 a 50L. As minhocas podem ser consideradas saudáveis se elas se movem através do substrato, não apresentando fuga do substrato, e se reproduzem

continuamente. Os cultivos de *E. andrei* foram realizados de acordo com a ISO 11268-2 (1998), substituindo-se a turfa por pó de casca de côco.

Para o cultivo de colêmbolos da espécie *Folsomia candida* utilizou-se uma mistura de gesso e carvão ativado como substrato, na proporção 1:10, dependendo do tipo de gesso adiciona-se de 60 a 100 mL de água a cada 100 g da mistura. O gesso tem a função de absorver os resíduos de gases e produtos de excreção e o carvão ativado tem a função de proporcionar uma coloração escura para facilitar a observação. Para os cultivos foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 400 mL; deve-se colocar uma camada de aproximadamente 1 cm de substrato no recipiente; adicionou-se ainda água destilada até quase a saturação do substrato. Esses recipientes foram bem fechados e as tampas foram perfuradas para possibilitar a troca de gases com o meio externo.

Os cultivos de colêmbolos foram mantidos em uma câmara climática com temperatura controlada entre 20 a 22°C, umidade relativa de 70 a 80% e sob um fotoperíodo de 16 h: 8h (claro-escuro). Para a alimentação dos colêmbolos utilizou-se fermento biológico (*Saccharomyces cerevisiae*); a alimentação foi realizada uma ou duas vezes durante a semana. Após oito semanas os colêmbolos foram trocados para outro recipiente fresco, essa transferência geralmente induz à ovoposição. Para a obtenção de um cultivo de idade padrão para ser usado em teste (10 a 12 dias), utilizou-se um pedaço da pedra de substrato com ovos que foi transferido para um outro recipiente recém preparado. Após 48 h retirou-se os adultos que podem ter ido junto com os ovos e então foi feita a observação constante dos ovos para ver o dia que o primeiro eclodir e a partir da primeira eclosão contou-se de 10 a 12 dias e teve-se os colêmbolos para serem utilizados em ensaios. O cultivo de colêmbolos foi realizado de acordo com a Norma ABNT NBR/ISO 11267 (ABNT, 2011).

### **3.3.2 Preparação das misturas utilizadas nos ensaios**

Na avaliação ecotoxicológica dos resíduos das empresas de papelão foram testadas misturas de solo de Pinus e com os resíduos. Para essa mistura fez-se necessária à coleta de solo de Pinus em um plantio que fica situado ao lado do terreno da UFSC – Campus Curitibanos. A coleta foi realizada com o auxílio de pá; primeiramente antes da coleta se fez a limpeza do local onde o solo seria coletado, para a retirada das acículas de Pinus, e outras plantas que estavam presentes no local. O solo coletado em campo era colocado em sacos plásticos e levado até o laboratório. Em laboratório o solo de Pinus coletado foi peneirado (malha 5 mm), para ficar com um padrão de granulometria.

Foram testadas duas concentrações de resíduo: 100% (resíduo bruto) e a dosagem de resíduo de 80 t/ha do resíduo misturada com solo de Pinus. Para a mistura de 80 t/ha utilizaram-se as proporções de 19% do Resíduo 1 e 5,8% do Resíduo 2 úmidos que equivalem a 80 t/ha de resíduo seco e para a quantia de solo de Pinus a ser utilizada na mistura também levou-se em consideração a umidade do solo. O cálculo foi feito tendo como base a quantidade de dejetos suíno aplicado por hectare, já que para os resíduos estudados não se tem noções de quantidades aplicadas ao solo.

Após cada mistura e para todos os tratamentos que seriam testados realizava-se a leitura de pH no início e no término do ensaio. Também foi realizada a avaliação da umidade inicial e final de todos os tratamentos de cada um dos ensaios. Todos os tratamentos para todos os ensaios deveriam estar com umidade de até 50% da sua capacidade de retenção de água, caso não se encontrassem com umidade suficiente acrescentava-se água destilada.

Para todos os ensaios com organismos terrestres utilizou-se os mesmos tratamentos, sendo eles: resíduos brutos, mistura de 80 t/ha dos resíduos em solo de Pinus, solo de Pinus e para os ensaios de reprodução de colêmbolos e minhocas realizou-se um tratamento com Solo Artificial Tropical (SAT) conforme representado no quadro 1.

Quadro 1 - Tratamentos utilizados em cada um dos ensaios com organismos terrestres.

Tratamentos	Ensaio		
	Fuga ( <i>E. Andrei</i> )	Reprodução colêmbolos ( <i>F. candida</i> )	Reprodução minhocas ( <i>E. andrei</i> )
Resíduos Brutos	X	X	X
80 t/ha	X	X	X
Pinus	X	X	X
SAT		X	X

Fonte: A autora.

### 3.3.3 Ensaio de fuga com minhocas (*E. andrei*)

O ensaio de comportamento ou fuga foi realizado utilizando caixas plásticas de dimensões definidas (20 cm de comprimento, 12 cm de altura, e 5 cm largura), divididas em duas seções de mesma área com o auxílio de um divisor plástico. Uma seção foi preenchida com o solo-teste (solo com resíduo) e a outra com solo não contaminado (solo de Pinus coletado em um plantio da espécie localizado próximo ao Campus da UFSC Curitibanos) (Figura 3). Após a remoção deste divisor, dez (10) organismos adultos de peso semelhante foram introduzidos na interface entre os solos. Antes de serem utilizados em teste, os

organismos foram acondicionados por 24 horas em solo artificial. O teste foi executado em 2 tratamentos onde um tratamento correspondia à mistura de 80 t/ha do resíduo e solo de Pinus e o outro tratamento corresponderá ao controle versus controle (os dois lados contendo solo de Pinus); esse teste foi realizado para as duas empresas separadamente em datas diferentes.

O teste foi mantido sob temperatura controlada ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) e fotoperíodo de luz:escuridão (16:8h). Após 48 horas de exposição, foi verificado o número de animais no solo-controle e no solo-teste (Figura 3). O número médio de organismos encontrados no solo controle e no solo-teste foram analisados usando o teste exato de Fisher ( $p < 0,05$ ), comparando a distribuição observada com a distribuição esperada (aleatória). Se mais de 80% dos organismos evitaram o solo-teste, considerou-se que o solo possui “*função de habitat limitada*”. Para esse ensaio foram seguidas as normas da ABNT NBR ISO 17512-1 (ABNT, 2011).

Para a preparação da mistura de 80 t/ha do Resíduo 1 utilizada no ensaio de fuga realizado com 5 repetições, seria necessário 2000 g da mistura, para isso utilizou-se 201,6 g de resíduo em 1.061 g de solo de Pinus, considerando que o resíduo possuía uma umidade de aproximadamente 80%. Já para o mesmo ensaio com o mesmo número de repetições utilizando o Resíduo 2 para a preparação da mistura de 80 t/ha utilizou-se 105 g de resíduo em 1785 g de solo de Pinus, tendo em consideração que o resíduo possuía umidade em torno de 60%.

Figura 3 - Ensaio de fuga com *E. andrei*: Preenchimento dos recipientes com solo-teste e solo-controle (1) e leitura do ensaio (2).



Fonte: A autora.

### 3.3.4 Ensaio de reprodução ou crônico de Colêmbolos (*F. candida*)

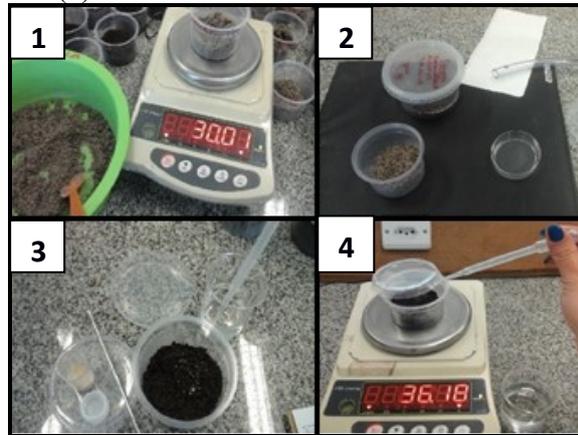
O ensaio de reprodução com colêmbolos da espécie *F. candida*, foi realizado de acordo com a Norma ABNT NBR/ISO 11267 (ABNT, 2011). Cada replicata dos tratamentos foi composta de um recipiente plástico com capacidade para 125 mL e uma tampa, e cada uma recebeu 30 g de solo e dez colêmbolos com idade entre 10 e 12 dias (Figura 4). O ensaio

foi realizado em tempos diferentes para cada uma das empresas; o ensaio foi realizado primeiramente para o Resíduo 1; esse ensaio contou com 3 tratamentos (resíduo bruto, mistura de 80 t/ha + solo de Pinus, e solo de Pinus), posteriormente se realizou o mesmo ensaio para o Resíduo 2, esse realizado em 5 tratamentos, pois se sentiu a necessidade de repetir um tratamento feito para o Resíduo 1 (Resíduo 2 bruto, mistura de 80 t/ha Resíduo 2 + solo de Pinus, mistura de 80 t/ha Resíduo 1 + solo de pinus, solo de Pinus e um tratamento com Solo Artificial Tropical - SAT)

O ensaio permaneceu incubado à temperatura de  $20 \pm 1$  °C durante 28 dias. Os colêmbolos foram alimentados no 1º e no 14º dia com fermento biológico (*S. cerevisiae*) e se realizou-se também a manutenção da umidade de cada uma das réplicas, que era realizada com a reposição da água perdida de uma semana para a outra, pesando-se os frascos e repondo com água destilada com o auxílio de uma pipeta de Paster (Figura 4). Ao final deste período, foram adicionadas água e tinta de caneta a cada uma das réplicas, possibilitando o registro fotográfico dos juvenis e posteriormente fez-se a contagem dos organismos utilizando o programa ImageJ® descrito por Rasband (1997).

No ensaio de reprodução de Colêmbolos para a realização da mistura de 80t/ha do Resíduo 1 com solo de Pinus, considerando 5 repetições, onde para cada repetição utilizou-se 30 g da mistura, então misturou-se 40,32 g de resíduo com 212,20 g de solo de pinus. Para o Resíduo 2 o mesmo ensaio, com a mesma quantidade de repetições e a mesma quantidade utilizada em cada repetição misturou-se 21 g de resíduo em 357 g de solo de Pinus. Os cálculos de quantidade de resíduo a ser utilizados na mistura foram calculados considerando-se a base seca dos resíduos.

Figura 4 - Ensaio de reprodução com *F. candida*: Preenchimento dos recipientes (1), adição de 10 organismos em cada um dos recipientes (2), alimentação dos organismos com fermento biológico (3) e manutenção da umidade do ensaio (4).



Fonte: A autora.

### 3.3.5 Ensaio de reprodução com minhocas (*E. andrei*)

O ensaio de reprodução de minhocas foi realizado utilizando-se recipientes plásticos com tampa, possuindo pequenas perfurações para permitir as trocas gasosas entre o meio e o ambiente externo. Em cada um dos recipientes foram colocados 500 g das misturas testadas. Em cada um dos recipientes foram colocadas 10 minhocas adultas da espécie *E. andrei*. Antes de serem usadas no teste essas minhocas passaram por uma aclimatização por sete dias, onde as mesmas ficaram expostas a um solo artificial e foram alimentadas com estrume de bovinos, desfaunado por dois ciclos de congelamento e descongelamento.

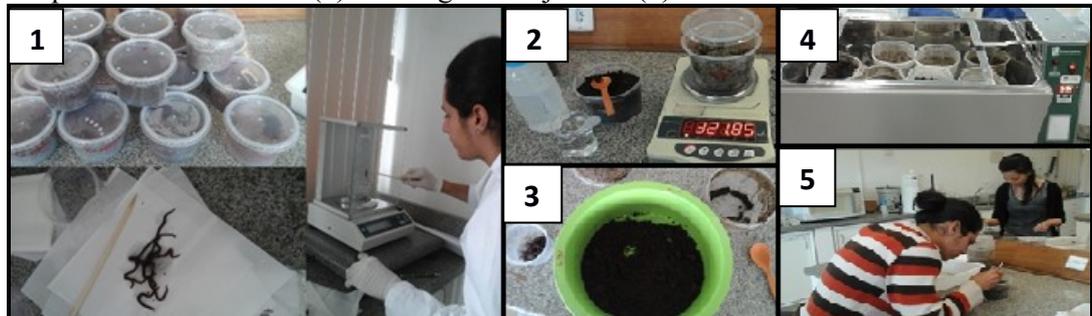
O período de duração do ensaio foi de dois meses; no entanto, as minhocas adultas foram retiradas dos recipientes-teste após um mês de exposição; durante o período em que as minhocas adultas ficaram expostas ao teste as mesmas foram alimentadas com estrume seco e moído uma vez por semana, e uma vez por semana também fez-se a manutenção da umidade do teste; a umidade foi controlada durante os dois meses de teste. Ao serem retiradas do ensaio, as minhocas adultas foram novamente pesadas uma por uma, para determinar perda de peso durante o período. Durante todo o período de exposição, o ensaio foi mantido em uma incubadora com temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . e fotoperíodo 12 h: 12 h (claro: escuro).

Após os dois meses cada um dos recipientes foi pesado juntamente com a tampa como foi feito no dia da implantação do teste; após a pesagem os recipientes-teste foram colocados em banho-maria a  $60^\circ\text{C}$ , onde permaneceram por aproximadamente uma hora. Depois de uma hora em banho-maria as minhocas jovens subiram para a superfície dos materiais testados;

essas minhocas jovens foram retiradas com o auxílio de uma pinça e colocadas em placa de Petri onde foi feita a contagem. O ensaio foi realizado de acordo com a ISO 11268-2 (1998).

O ensaio de reprodução de minhocas também foi realizado com um tratamento de 80 t/ha de resíduo misturado com solo de Pinus. Para o Resíduo 1 como foram 4 repetições de cada tratamento utilizou-se 2000 g da mistura para o tratamento então se fez uso de 403,2 g de resíduo e 2120 g de solo de Pinus para realizar a mistura. Para o Resíduo 2 misturou-se 210 g de resíduo e 3570 g de solo de Pinus para a realização da mistura de 80 t/ha de resíduos. Os cálculos também foram realizados com base no peso seco dos resíduos.

Figura 5 - Ensaio de reprodução com *E. andrei*: Recipientes preenchidos com os solos e pesagem dos organismos antes de serem postos no ensaio (1), alimentação dos organismos e manutenção da umidade do ensaio (2), retirada dos organismos adultos após um mês de ensaio (3), recipientes em banho-maria para leitura do ensaio (4) e contagem dos juvenis (5).



Fonte: A autora.

### 3.3.6 Teste da germinação de sementes de *L. sativa* L com elutriato

O elutriato foi obtido pela mistura de uma parte de lodo de ETE e quatro partes de água de diluição. A mistura foi submetida à agitação durante 30 min, com velocidade suficiente para ressuspender o material. Após 1 h de decantação, retirou-se o sobrenadante a ser utilizado no ensaio ecotoxicológico, evitando ressuspender a fração decantada. Esse procedimento para a obtenção do elutriato foi realizado conforme ABNT NBR 15469 (ABNT, 2004c).

Conforme descrito por Andrade, Davide e Gedraite (2010) primeiramente para se começar o teste de germinação com *L. sativa* L. (alface) mediu-se o pH das amostras de elutriato disponíveis; posteriormente às medições de pH das amostras, caso essas se encontrassem ácidas deveriam ser neutralizadas com solução de NaOH e os valores do pH inicial foram anotados.

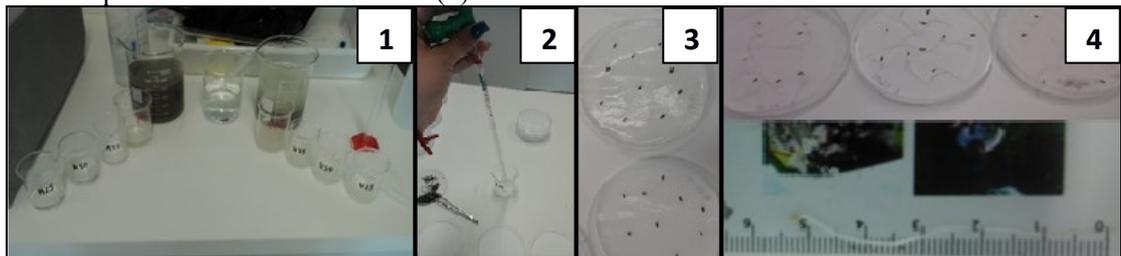
O teste de germinação com sementes de *L. sativa* L. foi realizado em cinco tratamentos para cada um dos resíduos, nos quais um era o controle e os outros quatro as

diluições do elutriato nas proporções de 25, 50, 75 e 100%. Para cada tratamento foram realizadas 3 repetições. Posteriormente ao encaixe dos papéis filtro nas placas de Petri fez-se a adição de 2 mL do elutriato do resíduo (Figura 6).

Em cada uma das placas de Petri (90 mm), foram distribuídas 10 sementes de alface; as placas foram então fechadas com suas respectivas tampas e deixadas a uma temperatura de  $20 \pm 2$  °C e ao abrigo da luz por um período de 72 horas.

Ao final deste período foi realizada a contagem da quantidade de sementes germinadas em cada placa e foi realizado. Também a medição das raízes de cada uma das sementes de cada placa; essas medições foram realizadas com o auxílio de régua graduada, isso para que depois fosse realizada a análise estatística dos dados (Figura 6).

Figura 6 -Teste de germinação e comprimento de raízes de sementes de alface (*L. sativa* L.): concentrações do elutriato testadas (1), adição do elutriato nas placas de Petri (2), adição de 10 sementes em cada uma das placas (3) e leitura do teste com a contagem das sementes germinadas e medição do comprimento de raízes emitidas (4).



Fonte: A autora.

### 3.3.7 Análise dos dados

Para avaliar os possíveis efeitos dos resíduos para a germinação de plantas utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Já para a reprodução dos invertebrados do solo de uma das empresas, os dados obtidos nos tratamentos foram comparados com os resultados obtidos para o solo controle que foi coletado em um plantio de *Pinus* próximo ao Campus da UFSC Curitibanos sem nenhuma adição de resíduos, utilizando Análise de Variância (ANOVA) seguida do teste de Dunnet ( $p < 0,05$ ). No caso da outra empresa fez-se uso do teste de Kruskal-wallis para o tratamento dos dados; o programa estatístico utilizado para as análises foi o GraphPad InStat®.

Os resultados do ensaio de fuga foram avaliados com o teste exato de Fisher, comparando-se o número de organismos esperados para uma distribuição aleatória, com o número de organismos encontrados no solo-teste ( $p < 0,05$ ), para essa análise usou-se um

programa online criado por Agresti, A. (1992) disponível em:  
<http://lh3lh3.users.sourceforge.net/fisher.shtml>.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS

Contataram-se mais de 15 empresas, das quais apenas sete atenderam ao convite para o preenchimento do instrumento de levantamento de dados deste trabalho. As empresas pesquisadas produzem os mais diversos tipos de produtos para os mais diversos segmentos, no entanto estes produtos são produtos à base de papelão. Os produtos vão desde embalagens para alimentos até reforço de palmilha para calçados, alguns produtos produzidos pelas empresas entrevistadas são: papel-cartão para reforço de palmilha, papel-cartão dielétrico, papel cartão de alta gramatura, caixas de pizza, pratos, capas de caderno, material gráfico, caixas de embalagens, embalagens de papelão ondulado para diversos segmentos do mercado, papel, papéis na área de higiene, papel higiênico, toalha, entre outros.

Das sete empresas que responderam ao questionário apenas uma não faz uso de aparas de papel para a fabricação de seus produtos, no entanto destas apenas três fazem uso apenas de aparas de papel para a produção; as outras utilizam além de aparas de papel celulose branqueada, celulose virgem, refile de Pinus e araucária e pasta mecânica (Tabela 1).

Foi questionado também, qual é o tipo de resíduo que sobra ao final do processo de produção de cada uma das empresas e se a empresa gera lodo de ETE, apenas duas empresas citaram que não geram lodo de ETE (Tabela 1), no entanto sobre o resíduo final gerado cada uma das empresas deu uma resposta diferente:

Areia residuária, cinzas de caldeira, plástico (Empresa 1). Lodo primário gerado na estação de tratamento de efluentes; resíduos plásticos; resíduos líquidos: proveniente da decantação do lodo; resíduos gasosos: provenientes da queima de lenha na caldeira (Empresa 2). Recortes, papel fora das especificações, fora dos critérios de qualidade, outro resíduo é a impureza encontrada nas aparas; ainda geramos o que chamamos de finos, que são restos de massa pronta retiradas pelo vácuo, e a cinza gerada com a queima de madeira para geração de vapor (Empresa 3). Resíduos sólidos (Empresa 4). Lama de cal, casca de Pinus, rejeitos fibrosos (Empresa 5). Plásticos provenientes dos papéis reciclados areia e grampos que vêm em folhas sulfites (Empresa 6).

Questiona-se sobre o destino final desses resíduos que cada empresa gerava ao final do processo de produção. Quatro empresas responderam que destinam seus resíduos ou lodos de ETE para aterros industriais, próprios ou terceirizados; uma empresa citou que faz uso do lodo

de ETE como adubação em reflorestamentos; uma empresa citou que faz incorporação à biomassa e apenas uma das empresas não respondeu o destino que é dado aos resíduos gerados ao final do processo de produção (Tabela 1).

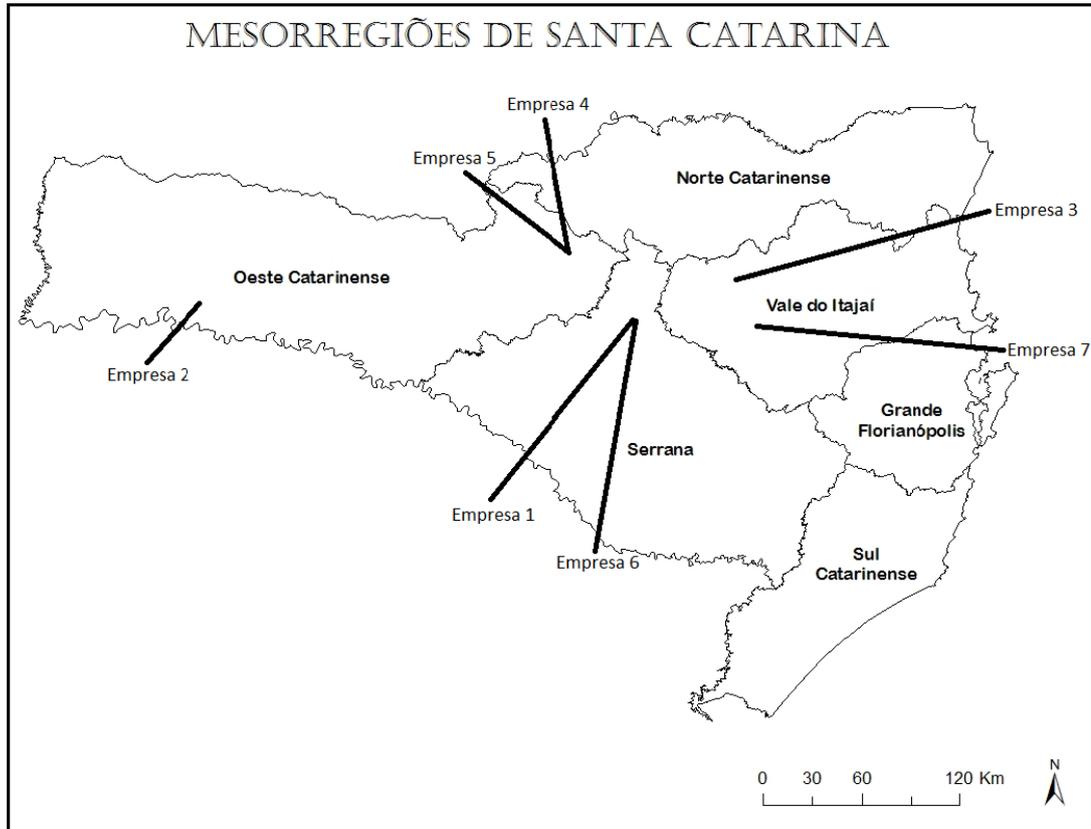
Tabela 1 – Respostas das empresas referente a utilização de aparas de papel, geração de lodo de ETE e destino do lodo de ETE.

<b>Empresas</b>	<b>Matérias-primas utilizadas</b>	<b>Geram lodo de ETE?</b>	<b>Qual o destino para os resíduos e o lodo de ETE?</b>
<b>Empresa 1</b>	Aparas de papel, refile de papel ondulado, celulose branqueada e refile de Pinus e araucária	Sim	Aplicação nos reflorestamentos como forma de adubação
<b>Empresa 2</b>	Aparas de papel	Sim	Aterro industrial e corpo hídrico receptor
<b>Empresa 3</b>	Pasta mecânica, celulose virgem	Não	Aterros terceirizados
<b>Empresa 4</b>	Aparas de papel	Sim	Aterro próprio
<b>Empresa 5</b>	Pinus	Sim	Incorporação à biomassa
<b>Empresa 6</b>	Aparas de papel	Não	-
<b>Empresa 7</b>	Aparas de papel e celulose virgem	Sim	Aterro industrial

Fonte: A autora.

As Empresas 1 e 6 estão localizadas na mesorregião Serrana, as Empresa 2, 4 e 5 se encontram no Oeste Catarinense e as Empresas 3 e 7 são localizadas no Vale do Itajaí (Figura 7).

Figura 7 - Localização das empresas que atenderam ao convite para o preenchimento do instrumento de levantamento de dados deste trabalho.



Fonte: Google imagens, 2017.

Das sete empresas que responderam ao questionário apenas duas permitiram que seus resíduos fossem estudados, sendo elas a Empresa 1 (Resíduo 1) e a Empresa 2 (Resíduo 2); então realizou-se a visita e coleta do resíduo em cada uma delas (Figura 8).

Figura 8 - Local de coleta dos Resíduos 1 e 2.



Fonte: A autora.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os valores de umidade encontrados nos resíduos de ambas as empresas são bastante elevados, no entanto o Resíduo 1 apresentava umidade ainda mais elevada quando comparada com o Resíduo 2 (Tabela 2). Essa diferença de umidade deve estar relacionada ao fato de que a Empresa 1 não faz nenhum tipo de secagem ou prensagem do resíduo ao final do processo, enquanto a Empresa 2 faz uma prensagem do lodo antes do descarte.

Tabela 2 - Valores de umidade presentes nos Resíduos 1 e 2.

Repetições	Tratamentos	
	Resíduo 1 (%)	Resíduo 2 (%)
1	87,68	61,66
2	87,34	60,53
3	86,83	60,22
<b>Média</b>	<b>87,28</b>	<b>60,80</b>
<b>Desv. Pad.</b>	<b>0,43</b>	<b>0,75</b>

Fonte: A autora.

A umidade encontrada por Pinheiro (2008) estudando um resíduo de lodo primário da Estação de Tratamento de Efluentes de uma empresa de papel para produção de cerâmica foi de 65%, semelhante ao encontrado para o Resíduo 2. Segundo este autor a alta quantidade de umidade presente no resíduo é uma das maiores dificuldades em manusear o resíduo, pois mesmo após o desaguamento, o resíduo ainda acaba apresentando um alto teor de umidade.

Kawatoko e Rizk (2011) estudando propostas de tratamentos para o lodo de reciclagem de papel chegaram em um valor de umidade para o lodo de 93,82% valor próximo ao encontrado por nós para o Resíduo 1. Segundo eles devido à alta umidade do lodo esse não poderia ser utilizado em compostagem, pois durante o processo de compostagem possibilita uma alta produção de chorume, dificultando a aeração do sistema, o que pode levar à anaerobiose.

A destinação final dos resíduos pressupõe secagem prévia devido à segurança ambiental para armazenamento, transporte e destino, e também em relação aos custos de transporte. A legislação ambiental e as empresas administradoras de aterros de resíduos perigosos não recebem lodos com água livre e/ou que apresentem umidade superior a 70% (GIORDANO, 2004), dessa forma pode-se dizer que apenas o resíduo proveniente da Empresa 2 poderia ser destinado a aterro sanitário conforme declarado pela referida Empresa, ao responder ao questionário sobre o destino dado ao lodo de ETE que é o aterro sanitário. Já

o resíduo da Empresa 1 não deve ser levado para aterros, no entanto a empresa não faz uso de aterros para a destinação dos seus resíduos, conforme citado pela empresa ao responder o questionário o lodo de ETE é depositado no solo em plantios de Pinus da própria empresa.

Observou-se os valores encontrados para cinzas presentes nos resíduos percebe-se que os valores são bastante distintos entre as empresas, pois para o Resíduo 1 o valor médio de cinzas foi de 11,18%, enquanto para Resíduo 2 o valor médio foi de 55,12% (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores de cinzas, lignina e celulose presentes nos Resíduos 1 e 2.

Repetições	Cinzas (%)		Lignina (%)		Celulose (%)	
	Res. 1	Res. 2	Res. 1	Res. 2	Res. 1	Res. 2
1	12,29	55,18	3,57	ND	59,66	67,27
2	11,38	55,55	3,98	ND	57,60	65,86
3	9,86	54,62	2,51	ND	60,95	67,21
<b>Média</b>	<b>11,18</b>	<b>55,12</b>	<b>3,35</b>	ND	<b>59,34</b>	<b>66,78</b>
<b>Desv. Pad.</b>	<b>1,23</b>	<b>0,47</b>	<b>0,76</b>	ND	<b>1,80</b>	<b>0,80</b>

ND= Não Determinado.

Fonte: A autora.

Ferreira (2012) ao analisar lodo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma empresa que produz papel Tissue encontrou uma quantidade de 55,54% de cinzas, no entanto o autor não atribuiu motivos a esse valor tão elevado, resultado esse muito superior ao encontrado para o Resíduo 1, porém bastante próximo ao valor encontrado para o Resíduo 2. Sendo que a empresa que teve o lodo estudado por Ferreira (2012) assim como a Empresa 2 tem como matéria prima papel reciclado; já a Empresa 1 faz uso de papel reciclado, no entanto faz uso também de celulose branqueada e refil de Pinus e araucária.

Borges, Sellin e Medeiros (2008) ao analisarem o lodo de ETE de uma empresa de papel e celulose chegaram a um valor de 13,6 % de cinzas, valor próximo ao encontrado para o Resíduo 1 (11,18%) e muito inferior ao encontrado para o Resíduo 2 (55,12%), no entanto a empresa estudada pelos autores não fazia uso de papel reciclável e sim de Pinus e eucalipto para a produção de seus produtos, isso pode estar relacionado ao fato dos valores do estudo desses autores serem próximos ao valor de cinzas para Resíduo 1, já que essa empresa também não trabalha somente com papel reciclado.

Como observa-se na tabela 3, os valores de lignina encontrados para Resíduo 1 apresentaram uma média de 3,35%; pode-se observar também que a lignina foi determinada

apenas para o Resíduo 1, pois a empresa correspondente ao resíduo utiliza Pinus e araucária como matéria-prima.

A madeira é a principal matéria prima para a produção de papel; os constituintes mais importantes da madeira são a celulose, hemicelulose e lignina. A madeira é composta de aproximadamente 40 a 45% de celulose, 20 a 35% de hemicelulose, 15 a 35% de lignina e aproximadamente 4% de outros materiais (ALEXANDRE, 2012).

Segundo Neves (2014) a principal função da lignina é reforçar a estrutura da madeira, atuando como cimento ligante entre as células. Através da polpação química e do processo de branqueamento se remove a lignina das fibras sem agredi-las, dessa forma a pasta celulósica fica com coloração mais clara, já que a lignina é a grande responsável pela coloração escura do papel. O Resíduo 1 possui coloração bastante escura, isso talvez possa explicar o teor de lignina presente no resíduo.

Ambas as empresas estudadas trabalham com aparas de papel, aparas que já passaram pelo processo de polpação e branqueamento para a retirada da lignina, por isso a lignina não foi determinada para o resíduo da Empresa 2; como a Empresa 1 trabalha com outras matérias-primas além de aparas seu resíduo apresentou lignina na composição.

Como percebe-se na tabela 3 os resíduos de ambas as empresas apresentaram mais de 50% de celulose na sua composição, sendo que em média 59,34% no Resíduo 1 e 66,78% no Resíduo 2 é celulose.

Na indústria de papel a reciclagem consiste no aproveitamento das fibras de celulose de papéis já utilizados e aparas para a produção de novos papéis. As fibras presentes nos papéis usados e nas aparas acabam substituindo as matérias-primas fibrosas virgens, como pastas químicas, semiquímicas ou mecânicas (D'ALMEIDA; PHILIPP, 1998 apud PINHEIRO, 2008).

Segundo Ferreira, Sousa e Costa (2007) os resíduos de celulose provenientes da reciclagem de papel apresentam como suas principais características favoráveis a presença de níveis altos de cálcio, micronutrientes como o zinco e características físicas como sua alta porosidade, baixa densidade, alta capacidade de retenção de água e reduzido peso; esses aspectos se tornam importantes para substratos de produção de mudas.

Costa et al. (2007) em seus estudos verificaram que na cultura do milho a presença de resíduos de celulose no solo com a utilização de nitrogênio intensificou significativamente o desenvolvimento das plantas; o mesmo não ocorreu com a aplicação do fósforo onde os resultados não foram tão expressivos.

Kawatoko e Rizk (2011), estudaram o tratamento do lodo gerado na empresa de reciclagem de papel por compostagem; os mesmos observaram que o resíduo proveniente da empresa de reciclagem de papel acabou desacelerando o processo de compostagem; eles assumem que uma das causas dessa redução no processo de compostagem estaria relacionada ao fato do lodo apresentar alto teor de celulose.

Quando aplicados aos solos materiais orgânicos brutos com altos valores de C/N podem acabar fazendo com que vegetais que ali crescem fiquem carentes de nitrogênio, isso até que esses materiais sejam decompostos completamente e a população microbiana diminua para que a partir da decomposição de seus cadáveres o nitrogênio seja liberado para as plantas (LEPSCH, 2011). Devido ao alto teor de matéria orgânica presente nos resíduos, sua aplicação no solo pode causar a imobilização de nitrogênio e prejudicar o desenvolvimento das plantas.

Ao somarem-se os percentuais de cinzas, lignina e celulose percebe-se que para o Resíduo 1 esse somatório não corresponde a 100% da massa do resíduo; entende-se que então deve haver no resíduo outros componentes que não foram determinados neste trabalho. Já para o Resíduo 2 observa-se que o somatório apenas de cinzas e celulose ultrapassa 100% da massa da amostra, o que pode significar que parte das substâncias que estão nas cinzas permaneceram na determinação de celulose.

### 4.3 AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DOS RESÍDUOS

#### 4.3.1 Ensaio de fuga com minhocas (*E. andrei*)

Após a aplicação do teste de Fisher a 0,05 de probabilidade, observou-se que em todos os tratamentos testados nenhum apresentou fuga dos organismos (Tabela 4). Como não houve fuga pode-se concluir que a partir do ensaio os resíduos testados não causaram repulsa das minhocas, quando comparados com o solo do plantio de Pinus sem a adição de resíduo.

O uso de ensaios de fuga como parâmetro do teste assume que a distribuição dos indivíduos é aleatória quando o mesmo solo está presente em ambas as seções do recipiente. Dessa forma espera-se uma distribuição uniforme de indivíduos ( $p > 0,05$ , teste de Fisher), garantindo que o solo usado como controle esteja livre de contaminantes e que o ambiente esteja controlado. É avaliado também se o teste cumpriu o critério de validade proposto nos protocolos (mortalidade  $< 10\%$  para minhocas) (BIANCHI, 2013; NATAL-DA-LUZ; RIBEIRO; SOUSA, 2004).

Como observou-se na tabela 4 no tratamento controle versus controle, a distribuição dos organismos ocorreu de forma aleatória e encontrou-se ao final do ensaio 46 indivíduos, ou seja, 8% de mortalidade de indivíduos, isso torna o teste válido diante dos protocolos estabelecidos para esse tipo de ensaio.

Alamino (2010) testou a utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável para a recuperação de solos degradados; o autor realizou também um ensaio de fuga para a avaliação da toxicidade da mistura de lodo em alguns tipos de solos. Os resultados encontrados pela autora referentes ao teste de fuga revelaram que as amostras de Latossolo + lodo de esgoto e lodo de esgoto demonstraram “função de habitat limitada”, já que apenas 3,57% e 1,6% dos organismos, respectivamente, foram encontrados nos solos-teste. Já para a amostra de Chernossolo + lodo de esgoto foram encontrados 68,96 % dos indivíduos testados. Dessa forma, fica comprovado que a amostra Latossolo + lodo de esgoto apresenta maior potencial para “limitação de habitat” em comparação à amostra constituída de Chernossolo + lodo de esgoto. Segundo a autora as características naturais da última amostra (fertilidade, mineralogia das argilas, teor de matéria orgânica, etc.) desempenharam papel fundamental no comportamento dos oligoquetas e na biodisponibilidade dos contaminantes para a pedofauna.

Tabela 4 - Número de organismos (*E. andrei*) encontrados em cada um dos tratamentos comparados com o solo de Pinus.

Repetição	Número de indivíduos em cada tratamento									
	Co A	Co B	Res.1	Co	Res. 2	Co	80 t/ha Res. 1	Co	80 t/ha Res. 2	Co
<b>R1</b>	1	8	10	0	10	0	9,5	0,5	7,5	2,5
<b>R2</b>	3	5	10	0	7	3	4,5	5,5	1,5	9,5
<b>R3</b>	3,5	6,5	10	0	8	2	10	0	2	6
<b>R4</b>	6	4	10	0	7,5	2,5	7,5	2,5	5,5	3,5
<b>R5</b>	6	3	9	1	9	1	9	1	3	4
<b>Soma</b>	19,5	26,5	49	1	41,5	8,5	40,5	9,5	19,5	25,5
<b>Soma total de indivíduos</b>	46		50		50		50		45	

Co = Controle com solo de pinus

Fonte: A autora.

Observa-se na tabela 4 que os resíduos brutos de ambas as empresas apresentaram mais de 80% dos organismos quando comparados com o controle. Isso pode ter ocorrido por conta do pH de ambos os resíduos serem básicos, e o do controle que nesse caso foi utilizado solo de Pinus que tem um pH ácido (Tabela 4), nos tratamentos de 80 t/ha de ambos os

resíduos também se observou maior número de indivíduos comparado com o solo de Pinus. Segundo Bornhausen (2010) alguns estudos indicam que as minhocas apresentam sobrevivência em substratos com pH ligeiramente ácido ou alcalinos, porém o pH ótimo para a espécie se encontra na faixa entre 5,5 – 6,5.

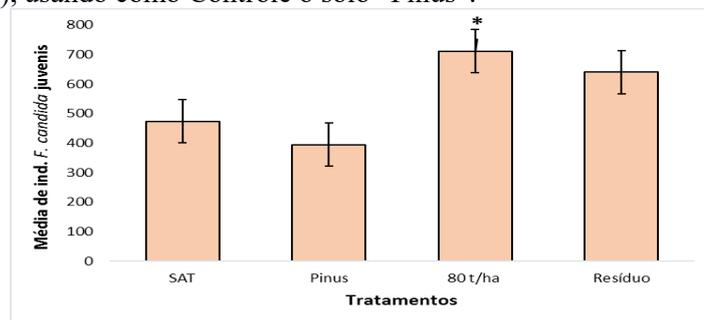
#### 4.3.2 Ensaio de reprodução ou crônico de Colêmbolos (*F. candida*)

Esse ensaio foi realizado em duas etapas, a primeira com o Resíduo 1 e a segunda etapa com o Resíduo 2, porém isso não comprometeu a validade do ensaio, pois em ambos os ensaios foram realizados seguindo-se os mesmos passos e contou-se com os tratamentos controles com SAT e solo de Pinus sem resíduo.

O ensaio realizado para Resíduo 1, através da ANOVA seguida de teste de estatística não paramétrica o teste de Kruskal-wallis não apontou diferenças estatisticamente significativas entre a reprodução dos colêmbolos em resíduo bruto e a reprodução no solo de Pinus.

Houve a repetição do tratamento com mistura de resíduo (80 t/ha de resíduo) e solo de Pinus, a partir dessa repetição se realizou o teste de Dunnett onde chegou-se ao resultado de que a reprodução de colêmbolos foi significativamente superior no tratamento de 80 t/ha do Resíduo 1 em relação ao solo do Pinus sem o resíduo (Figura 9).

Figura 9 - Número médio de indivíduos de *F. candida*, para cada um dos tratamentos testados para o Resíduo 1. Onde “\*” representa tratamentos estatisticamente significativos na ANOVA seguida do teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), usando como Controle o solo “Pinus”.

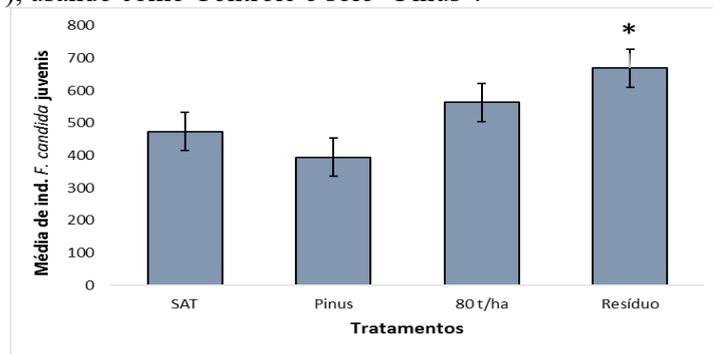


Fonte: A autora.

Para os resultados provenientes do ensaio com o Resíduo 2 foi aplicado o teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), que mostrou que a reprodução dos colêmbolos foi significativamente superior com a aplicação do Resíduo 2 bruto em relação ao solo de Pinus que não continha resíduo algum. Assim pode-se afirmar que para a reprodução de colêmbolos o Resíduo 2 não apresentou toxicidade aos organismos testados (Figura 10).

O fato da reprodução significativamente superior do Resíduo 2 bruto quando comparado com o tratamento de solo de Pinus poderia estar relacionada com o fator de pH, pois o resíduo possui um pH mais alto em relação ao solo de Pinus, com pH ácido. Observa-se que no Resíduo 1 a reprodução de colêmbolos foi significativamente superior apenas no tratamento de 80 t/ha do resíduo que apresenta um pH próximo ao do solo de Pinus (Tabela 5).

Figura 10 - Número médio de indivíduos de *F. candida*, para cada um dos tratamentos testados para o Resíduo 2. Onde “\*” representa tratamentos estatisticamente significativos na ANOVA seguida do teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), usando como Controle o solo “Pinus”.



Fonte: A autora.

Tabela 5 - Valores de pH para cada um dos tratamentos testados.

Tratamentos	pH
SAT	5,91
Pinus	4,24
Res. 1	7,29
Res. 2	7,18
80 t/ha Res. 1	4,68
80 t/ha Res. 2	4,47

Fonte: A autora.

Crouau et al. (2002) apud Segat (2013) alertavam para a dificuldade da avaliação de compostos orgânicos, os testes com colêmbolos podem ter diferentes respostas devido a variações ocorridas no pH, teor de umidade e presença de grande quantidade de matéria orgânica. Por isso a importância de serem feitos mais de um teste para avaliar a toxidez de um resíduo e não apenas os de toxicidade aguda.

Steffen, Antonioli e Steffen (2007) que comparam solo de pomar de cítrus e solo de um bosque de Pinus, onde aos dois solos foram acrescentados os mesmos materiais orgânicos para a formação de um substrato para a reprodução de colêmbolos (*F. candida*), independente

do resíduo de material vegetal que foi adicionado como forma de disponibilização de material orgânico para o desenvolvimento dos organismos, o solo pertencente à área de cítrus proporcionou melhores condições para a reprodução dos colêmbolos do que o solo proveniente do bosque de Pinus. Segundo os autores, este maior número de indivíduos em solo de cítrus possivelmente estaria relacionado ao fato de o pH deste solo estar mais próximo da neutralidade. Os mesmos autores ainda colocam que esses resultados demonstram que, no geral, a influência da serapilheira do pinus sobre o solo, a qual causa diminuição do pH do mesmo, proporcionou condições menos favoráveis à reprodução dos colêmbolos.

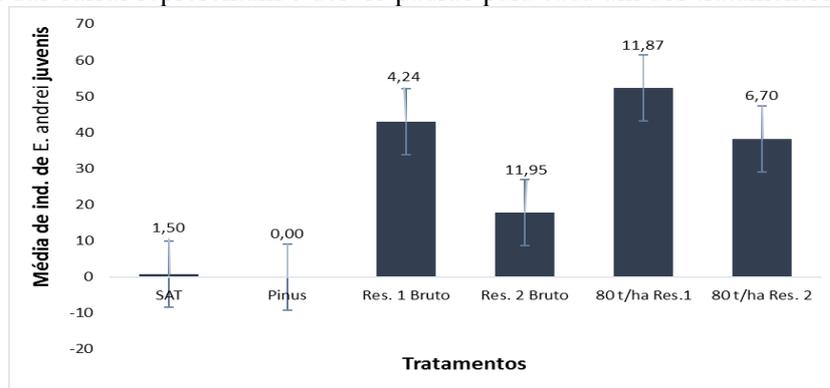
Domene, Alcañiz e Andrés (2007) estudaram diversos resíduos orgânicos, como lamas de esgoto desidratadas, lamas de esgoto de dois canais, lodos de esgoto secados termicamente e uma pasta de porco secada termicamente, com o estudo perceberam que o aumento das concentrações de resíduos exerceu efeitos contraditórios sobre *F. candida*. Segundo eles por um lado, os resíduos inibiram a sobrevivência e a reprodução em concentrações mais elevadas, mas estimulavam a reprodução em concentrações mais baixas. Esse comportamento mostra os efeitos contraditórios dos resíduos orgânicos, cuja matriz orgânica atua simultaneamente como um recurso nutricional e como fonte de toxicidade (ANDRÉS e DOMENE, 2005).

#### **4.3.3 Ensaio de reprodução com minhocas (*E. andrei*)**

Na figura 11 estão representados os números de juvenis encontrados no teste de reprodução com minhocas. Como observa-se no tratamento com solo SAT e no tratamento com solo de Pinus não houve reprodução. O SAT é o solo controle no ensaio, onde deve haver uma reprodução mínima de 30 juvenis por réplica. Como não houve reprodução neste solo, o ensaio não pode ser considerado válido.

No entanto, observando os resultados dos demais tratamentos, apenas para fins de varredura na observação de possível ecotoxicidade, estes indicaram uma tendência de menor reprodução no tratamento com resíduo bruto da Empresa 2 (Res. 2) quando comparado com o tratamento com resíduo bruto da Empresa 1 (Res. 1), e uma maior reprodução de minhocas nos tratamentos onde os resíduos foram diluídos em solo de Pinus (80 t/ha Res. 1 e 80 t/ha Res. 2). Isso pode ser um indício de ecotoxicidade crônica dos resíduos para minhocas. Porém somente a repetição do ensaio poderia dar esta resposta, o que não realizou-se devido ao fato de que esse ensaio demanda muito tempo para ser realizado (56 dias), tempo esse que não se teve devido ao prazo de entrega do presente trabalho.

Figura 11 - Número médio de indivíduos juvenis de *E. andrei* para cada um dos tratamentos testados. Números acima das barras representam o desvio padrão para cada um dos tratamentos.



Fonte: A autora.

Nos testes crônicos, de modo geral, são observados efeitos sub-letais, que acabam permitindo a sobrevivência dos indivíduos testados, porém acabam afetando uma ou mais funções biológicas, como por exemplo, a inibição do crescimento, alterações na taxa reprodutiva e algumas modificações morfológicas. O teste de reprodução de minhocas, comumente é considerado um parâmetro mais sensível comparado com o teste de toxicidade aguda, pois o teste de reprodução permite a avaliação de efeitos de concentrações sub-letais, abaixo de uma dada concentração letal para os organismos. O teste de reprodução de minhocas ainda é amplamente considerado como o de maior relevância quando se trata de previsões dos impactos sobre os ecossistemas do solo, pois influencia na dinâmica da população ao longo do tempo (MAGALHÃES; FERRÃO-FILHO, 2008; ŽALTAUSKAITĖ; SODIENĖ, 2010).

#### 4.3.4 Teste da germinação de sementes de *L. sativa* L. com elutriato

O número de sementes germinadas não apresentou diferença estatística significativa em nenhum dos tratamentos, para nenhum dos elutriatos dos Resíduos 1 e 2. A grande maioria dos tratamentos e do controle para ambas as empresas apresentaram 100% de germinação, salvo exceções, onde foram encontradas rachaduras nas placas de Petri (Tabela 6). O problema de perda de água do substrato pode acabar prejudicando o desempenho do teste, já que manter a umidade constante durante todo o período de condução é fundamental para a uniformidade do procedimento experimental (OLIVEIRA et al., 2009).

Tabela 6 - Número de sementes de alface (*L. sativa* L.) germinadas por tratamento para os Resíduos 1 e 2.

Repetição	Número de sementes germinadas								
	Control e	Res.1 100	Res.1 75	Res.1 50	Res.1 25	Res.2 100	Res.2 75	Res.2 50	Res.2 25
1	10	10	10	10	10	10	10	10	9
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	*	9	10	10	10	10	10	10
<b>Média</b>	10	10	9,67	10	10	10	10	10	9,67
<b>Desv. Pad.</b>	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58

\* representa uma repetição perdida, por problemas na placa de Petri utilizada, essa repetição não foi utilizada nos testes estatísticos.

Fonte: A autora.

Brito-Pelegrini et al. (2009) realizaram ensaios biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico e as sementes testadas foram as sementes de alface (*L. sativa* L.). Os autores encontraram após tratamento por fotocatalise homogênea ( $H_2O_2/UV$ ) que houve aumento no potencial de germinação das sementes mediante diminuição da toxicidade. Após tratamento por filtração lenta, a porcentagem de diluição em que não se observou efeito tóxico (CENO - Concentração do Efeito Não Observável) para a espécie de alface foi a de 15%. E a porcentagem de diluição mínima em que se observou efeito tóxico (CEO - Concentração do Efeito Observável) foi a de 16%.

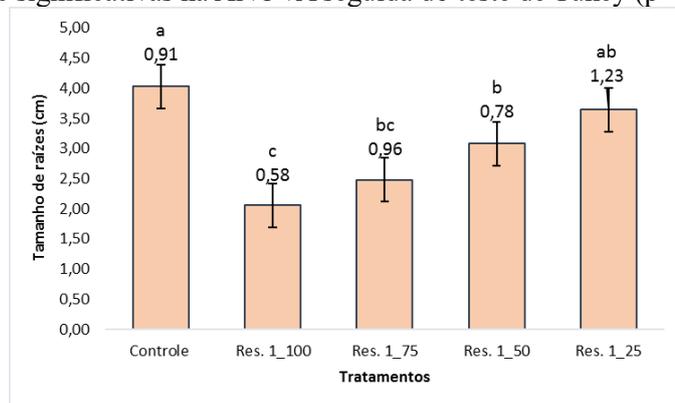
Vieira (2009) fez uma avaliação ecotoxicológica de lixiviados de lamas provenientes de sete Estações de Tratamento de Águas (ETA) diferentes, e testou ainda a capacidade de germinação de sementes de alface (*L. sativa*) nas lamas de ETA; essas lamas foram identificadas pelo autor de A a G. Os lixiviados das lamas C, D e G, apresentaram inibição da germinação entre algumas das diluições testadas e os ensaios controle. A questão que levantou-se é que a água desta zona pode conter algum/alguns constituinte (s) que lhes é comum (dada a proximidade dos rios de captação) que afeta visivelmente a ecotoxicidade das lamas provenientes após tratamento físico-químico.

Em relação ao teste do crescimento de raízes para as sementes de *L. sativa*, os resultados obtidos através do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para o elutriado proveniente Resíduo 1, observa-se que o tratamento controle apresentou tamanhos de raízes significativamente superiores aos tratamentos de 100, 75 e 50% de elutriado, entretanto o tratamento de 25% de elutriado não diferiu do controle. E o tratamento com 100% de elutriado apresentou valores

significativamente inferiores a todos os outros tratamentos testados. Os resultados indicam que para o Resíduo 1 o etutriato nas diluições de 100, 75 e 50% apresentou toxicidade no crescimento de raízes. Pois, percebe-se que conforme se diminuiu a concentração do elutriato maiores são os tamanhos das raízes (Figura 12).

Marchini, Machado e Stülp (2011) realizaram o mesmo ensaio para a avaliação do possível reuso do efluente gerado em indústria de alimentos. No trabalho os autores avaliaram o efluente bruto e o efluente tratado em diferentes concentrações, para ambos os tipos de efluente os autores também observaram que conforme o aumento da concentração do efluente menor eram o tamanho de raízes emitidas.

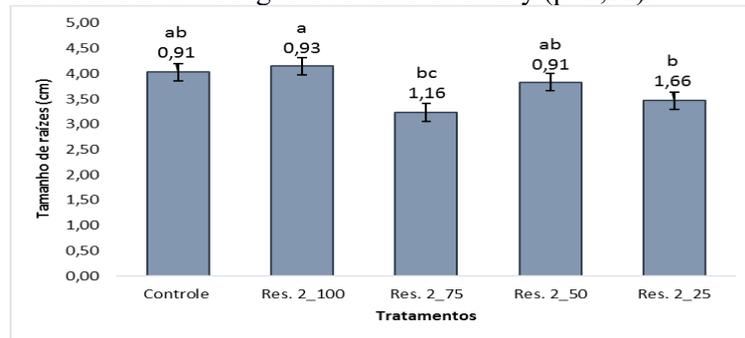
Figura 12 - Tamanho de raízes (cm) médio para cada um dos tratamentos testados para o Resíduo 1. Números acima das barras representam o desvio padrão de cada tratamento. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas na ANOVA seguida do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: A autora.

A partir da análise dos dados com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para o Resíduo 2 o tratamento controle não diferiu estatisticamente de nenhum dos tratamentos testados. Já o tratamento com 100% de elutriato se apresentou superior estatisticamente aos tratamentos de 75 e 25% de elutriato (Figura 13). O Resíduo 2 não apresentou toxicidade para o ensaio de crescimento de raízes.

Figura 13 - Tamanho de raízes (cm) médio para cada um dos tratamentos para o Resíduo 2. Números acima das barras representam o desvio padrão de cada tratamento. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas na ANOVA seguida do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: A autora.

Brossi (2008) em seu estudo sobre a ecotoxicologia de um sistema florestal de eucalipto tratado com lodo de esgoto testou o crescimento de raiz com *L. sativa* em diferentes doses do lodo de esgoto; o teste toxicológico apresentou aumento linear do crescimento das raízes em função das doses do lodo, sendo que os valores variaram de 1,54 cm, na amostra de solo sem aplicação de lodo até 2,06 cm na amostra com 23,1 t/ha de lodo, indicando assim que o aumento das doses de lodo provavelmente contribuiu para o crescimento das raízes.

## 5 CONCLUSÕES

O Resíduo 1 por conta do seu alto teor de umidade (87,28%) não deve ser depositado em aterro industrial, já o Resíduo 2 pode ser destinado a aterro, pois apresenta teor de umidade (60,80%) aceito em aterros. Em relação à quantidade de celulose encontrada nos resíduos estudados (Resíduo 1 = 59,34% e Resíduo 2 = 66,78%) percebe-se que caso a aplicação desses resíduos seja realizada juntamente com nitrogênio poderia favorecer o desenvolvimento de alguns grupos de plantas.

Os valores de cinzas encontrados para os Resíduos 1 e 2 respectivamente foram de 11,18 e 55,12%; a empresa que trabalha somente com aparas de papel apresentou quantidade de cinzas maior que a empresa que trabalha também com outras matérias primas além das aparas de papel. Já a determinação do conteúdo de lignina foi determinada apenas para a Empresa 1 que apresentou 3,35% de lignina; a Empresa 2 não teve a lignina determinada, pois como a empresa trabalha somente com aparas de papel subentende-se que o resíduo não apresentaria nenhum teor de lignina em sua composição.

Os resultados da avaliação ecotoxicológica indicaram que os resíduos de ambas as empresas não apresentaram toxicidade no ensaio de fuga com minhocas nem no ensaio de reprodução de colêmbolos em comparação com o solo de plantio de *Pinus*. Uma explicação possível seria o aumento do pH quando o resíduo é aplicado a este solo.

No ensaio de germinação de sementes de alface, percebe-se para o elutriado do Resíduo 1 que no tratamento com a concentração de 100% do elutriado as raízes não se desenvolveram tanto como nos tratamentos com concentrações menores do elutriado, no entanto para nenhum dos resíduos em nenhuma das diluições se teve interferência na germinação das plantas.

Nos ensaios de ecotoxicidade, os resultados até o momento podem indicar que o aumento do pH do solo com a adição dos resíduos, no solo de plantios de *Pinus*, pode favorecer a sobrevivência e reprodução da fauna do solo. Porém, são necessários mais estudos sobre os resíduos; também seria necessária a repetição do ensaio de reprodução com *E. andrei*, já que o realizado não pôde ser validado.

Devido ao ensaio ecotoxicológico com sementes de *L. sativa* para o Resíduo 1 ter apresentado toxicidade em algumas diluições do elutriado não indica-se a aplicação dos resíduos no solo sem mais estudos. No entanto, para os solos de *Pinus* a adição dos resíduos melhorou a sobrevivência e reprodução dos organismos terrestres estudados.

Sugere-se a partir do presente trabalho que sejam analisados os micros e macronutrientes presentes neste tipo de resíduos; também a capacidade de fertilização de solos dos resíduos de ETE de empresas de papelão que já vem sendo depositados nos solos de reflorestamentos como uma forma de adubação.

Indica-se a realização de ensaios ecotoxicológicos com dosagens menores de resíduo aplicado ao solo e também com solos onde já houve a aplicação desses resíduos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15469**: Ecotoxicologia — Coleta, preservação e preparo de amostras. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 17512-1**: Qualidade do solo – Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*). Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11267**: Qualidade do solo — Inibição da reprodução de Collembola (*Folsomia candida*) por poluentes do solo. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, p. 148, 2013. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2017.
- ABREU, H. S.; CARVALHO, A. M.; MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; SILVA, H. R.; SOUZA, K. C. A.; AMPARADO, K. F.; CHALITA, D. B. Métodos de análise em química da madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p.01-20, jan. 2006. Disponível em: <[www.floram.org/files/v00n00/STv0n0a1.pdf](http://www.floram.org/files/v00n00/STv0n0a1.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2016.
- ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais**. 2010. 221 f. Tese - Curso de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[http://ppgl.geologia.ufrj.br/media/pdfs/Renata\\_Alamino\\_TESE2010.pdf](http://ppgl.geologia.ufrj.br/media/pdfs/Renata_Alamino_TESE2010.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2017.
- ALMEIDA, H. C.; SILVEIRA, C. B.; ERNANI, P. R.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (DREGS). **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p.18-24, jul. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000700032>>. Acesso em: 11 abr. 2016.
- ANDRADE, L.F; DAVIDE, L.C; GEDRAITE, L.S. The effect of cyanide compounds, fluorides aluminum, and inorganic oxides present in spent pot liner on germination and root tip cells of *Lactuca sativa*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 73, p. 626-631, 2010. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651303002899>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

ANDRÉS, P.; DOMENE, X. Ecotoxicological and Fertilizing Effects of Dewatered, Composted and DrySewage Sludge on Soil Mesofauna: A TME Experiment. **Ecotoxicology**, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 545-557, jun. 2005. Disponível em: <[http://www.academia.edu/23756155/Ecotoxicological\\_and\\_Fertilizing\\_Effects\\_of\\_Dewatered\\_Composted\\_and\\_DrySewage\\_Sludge\\_on\\_Soil\\_Mesofauna\\_A\\_TME\\_Experiment](http://www.academia.edu/23756155/Ecotoxicological_and_Fertilizing_Effects_of_Dewatered_Composted_and_DrySewage_Sludge_on_Soil_Mesofauna_A_TME_Experiment)>. Acesso em: 24 maio 2017.

ALEXANDRE, G. **Redução do material orgânico do lodo final na fabricação de papel Tissue através de otimização do processo**. 2012. 84 f. Dissertação - Curso de Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28577/R-D-GILSON-ALEXANDRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 maio 2017.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p.79-83, jun. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162005000300013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000300013)>. Acesso em: 22 maio 2017.

ARENZON, A.; PEREIRA NETO, T. J.; GERBER, W. **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais**. Porto Alegre: CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique D'avila Bertaso, 2011. 40 p. Disponível em: <[www.ecotox.com.br/upload/legislacao/351409114012.pdf](http://www.ecotox.com.br/upload/legislacao/351409114012.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2016.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Dados do setor**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.abrelivros.org.br/home/index.php/entidades-do-livro/104-bracelpa-associacao-brasileira-de-celulose-e-papel>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

BRASIL, LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 20 abr. 2016.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre o inventário Nacional de Resíduos Sólidos industriais**. DF. v. 1, p. 85-91. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335](http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335)>. Acesso em: 12 abr. 2016.

BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 2, n. 1, p.24-40, dez. 2012. Disponível em: <<https://www.uninter.com/web/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente>>. Acesso em: 31 maio 2017.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; TÔRRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. R.; NESI, C. N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p.16-25, nov. 2006. Disponível em: <[rca.cav.udesc.br/rca\\_2006\\_1/alvadi2.pdf](http://rca.cav.udesc.br/rca_2006_1/alvadi2.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2016.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: NOVAIS, R. F. **Tópicos especiais em ciência do solo**. 7. ed. Viçosa: SBCS, 2011. p. 119-170. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/profile/publication/267333227fauna\\_edafica\\_e\\_qualidade\\_do\\_solo/links/544c197f0cf2bcc9b1d6c3e2/fauna-edafica-e-qualidade-do-solo.pdf](https://www.researchgate.net/profile/publication/267333227fauna_edafica_e_qualidade_do_solo/links/544c197f0cf2bcc9b1d6c3e2/fauna-edafica-e-qualidade-do-solo.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2017.

BASILE, A. G. **Desenvolvimento de teste ecotoxicológico com o fungo *Alternaria cassiae*: toxicidade aguda de agrotóxicos e avaliação de risco ambiental**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-sp, 2008. Disponível em:

<[www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/m/3349.pdf](http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/m/3349.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2016.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. **Ciência & Engenharia**, Joinville, v. 17, n. 1, p.27-32, dez. 2008. Disponível em:

<[www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/download/730/5628](http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/download/730/5628)>. Acesso em: 03 maio 2017.

BORNHAUSEN, E. B. C. **Uso de oligochaetas como indicador de alteração química em solos submetidos à adição de resíduos de suinocultura e mineração de carvão**. 2010. 50 f. Dissertação - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010. Disponível em:

<[http://www.cav.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/829/elaine\\_bessa\\_da\\_costa\\_bornhausen\\_julio\\_cesar\\_pires\\_dos\\_santos\\_27\\_0.pdf](http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/829/elaine_bessa_da_costa_bornhausen_julio_cesar_pires_dos_santos_27_0.pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2017.

BRITO-PELEGRINI, N. N.; PATERNIANI, J. E. S.; BROTA, G. A. Santos, E. M.; SILVA, N. B. PELEGRINI, R. T. Ensaio biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico. **Minerva**, São Carlos, v. 6, n. 3, p.219-228, dez. 2009. Disponível em: <[http://www.fipai.org.br/Minerva\\_06\(03\)\\_01.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva_06(03)_01.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BROSSI, M. J. L. **Ecotoxicologia de um sistema florestal de eucalipto tratado com lodo de esgoto**. 2008. 87 f. Dissertação - Curso de Pós-graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: [www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-29112009-162251/pt-br.php](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-29112009-162251/pt-br.php). Acesso em: 11 jun. 2017.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, M. L.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Curitiba: Embrapa, 2015. p. 122-154.

BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; ROJAS, P.; PATRÓN, J. C.; BUENO, J.; MORENO, A. G.; LAVELLE, P.; ORDAZ, V.; RODRIGUES, C. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta Zool. Mex.**, S.l., v. 1, n. 1, p.79-110, jul. 2001. Disponível em:

<<http://www1.inecol.edu.mx/azm/documentos/especial/especial-1f-Brow.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

BIANCHI, M. O. **Ensaio Ecotoxicológicos como Ferramenta para Avaliação do Impacto Ambiental de Resíduos de Mineração Sobre o Solo**. 2013. 106 f. Tese - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013. Disponível em: <[http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses\\_dissert/376\\_\(DO-2013\)\\_Miriam\\_de\\_Oliveira\\_Bianchi.pdf](http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/376_(DO-2013)_Miriam_de_Oliveira_Bianchi.pdf)>. Acesso em: 07 maio 2017.

CAVALCA, D. A. **Caracterização dos resíduos sólidos após a estação de tratamento de uma indústria de reciclagem de papel**. 2010. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade Dinâmica das Cataratas, Foz do Iguaçu – PR, 2010. Disponível em: <[www.udc.edu.br/monografia/monoamb170.pdf](http://www.udc.edu.br/monografia/monoamb170.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CESAR, R.G.; COELHO, M.B.; ALVARO, T.T.; COLONESE, J.P.; CASTILHOS, Z.C.; EGLER, S.G.; BIDONE, E.D.; POLIVANOV, H.; ALEXANTRE, N.Z Disposição continental de resíduos de mineração de carvão: drenagem ácida, ecotoxicidade aguda e biodisponibilidade de metais. **Ecotoxicol. Environ. Contam.**, Campinas-SP, v. 8, n. 2, p.17-22, abr. 2013. Disponível em: <[ecotoxbrasil.org.br/index.php?568%3](http://ecotoxbrasil.org.br/index.php?568%3)>. Acesso em: 13 abr. 2016.

CHAPMAN, P. M. Emerging substances—emerging problems? **Environmental Toxicology And Chemistry**, USA, v. 25, n. 6, p.1445-1447, jun. 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1897/06-025.1/epdf>>. Acesso em: 22 maio 2017.

COSTA, A. S. V.; RUFINI, J. C. M.; SILVA, M. B.; GALVÃO, E. R.; RIBEIRO, J. M. O. Efeito do resíduo de celulose e esterco no solo sobre o desenvolvimento do milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p.339-344, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/download/3342/1139>>. Acesso em: 04 maio 2017.

DE MARCO, L. A. **Avaliação da influência do resíduo de reciclagem de papel no processo produtivo da cultura do milho**. 2011. 96 f. Dissertação - Curso de Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville, Joinville-SC, 2011. Disponível em: <[univille.edu.br/community/...ep/VirtualDisk.html?](http://univille.edu.br/community/...ep/VirtualDisk.html?)>. Acesso em: 11 abr. 2016.

DOMENE, X.; ALCANIZ, J. M.; ANDRÉS, P. Ecotoxicological assessment of organic wastes using the soil collembolan *Folsomia candida*. **Applied Soil Ecology**, S.l., v. 35, n. 1, p.461-472, mar. 2007. Disponível em: <[http://www.academia.edu/23756154/Ecotoxicological\\_assessment\\_of\\_organic\\_wastes\\_using\\_the\\_soil\\_collembolan\\_Folsomia\\_candida](http://www.academia.edu/23756154/Ecotoxicological_assessment_of_organic_wastes_using_the_soil_collembolan_Folsomia_candida)>. Acesso em: 24 maio 2017.

FERREIRA, A. M. C. **Aplicação de resíduos de lodo de papel na preparação de compósitos com cinza de madeira e cal residual: caracterização e ensaios normatizados**. 2012. 77 f. Tese - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <[www.pgmecc.ufpr.br/teses/tese\\_017\\_andressa\\_maria\\_coelho\\_ferreira.pdf](http://www.pgmecc.ufpr.br/teses/tese_017_andressa_maria_coelho_ferreira.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2016.

FERREIRA, C. S.; SOUSA, S. M.; COSTA, A. S. V. Utilização de resíduo de celulose associado a adubação com nitrogênio e fósforo na produção de mudas de *E. grandis*. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p.942-944, jul. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/viewFile/763/667>>. Acesso em: 04 maio 2017.

GARCIA, N. N. **Uso do lodo de flotador de abatedouro de aves na produção de biochar**. 2016. 43 f. TCC - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5072/1/CM\\_COEAM\\_2016\\_1\\_15.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5072/1/CM_COEAM_2016_1_15.pdf)>. Acesso em: 31 maio 2017.

GARCIA, M.; ROMBKE, J.; BRITO, M. T.; SCHEFFCXYK, A. Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions. **Environmental Pollution**, [S.l.], v. 153, n. 2, p.450-456, maio 2008. Disponível em: <Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.007>>. Acesso em: 22 maio 2017.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: UERJ, 2004. 81 p. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35427518/Apostila\\_Tratamento\\_de\\_efluentes\\_industriais.pdf?](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35427518/Apostila_Tratamento_de_efluentes_industriais.pdf?)>. Acesso em: 28 abr. 2017.

GOMES, L. S.; SILVA, F. A.; BARBOSA, S.; KUMMROW, F. Ecotoxicity of Sludges Generated by Textile Industries: a Review. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, São Paulo, v. 7, n. 1, p.89-96, ago. 2012. Disponível em: <[http://www.files.scire.net.br/atRIO/unifal-mg-ppg-eta\\_upl/PRODUCTION/551/2012.ecotoxicity\\_of\\_sludges\\_generated\\_by\\_textile\\_industries\\_a\\_review.1.pdf](http://www.files.scire.net.br/atRIO/unifal-mg-ppg-eta_upl/PRODUCTION/551/2012.ecotoxicity_of_sludges_generated_by_textile_industries_a_review.1.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2017.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface Cultivados no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2009. 7 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2017.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Acesso em: 03 jul. 2017.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **ISO 11268-2 – Soil quality – Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia foetida*) – Part 2: Determination of effects on reproduction**. ISO, Genebra, p. 21, 1998.

JACOMINO, V. M. F.; RIBEIRO, E. D. L.; CASTRO, L. F. A. Seleção de padrões de emissão atmosférica. Um estudo de caso para as pequenas e médias empresas produtoras de ferro-gusa do estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p.112-116, set. 2002. Disponível em: <[www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/.../v7n34n03.pdf](http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/.../v7n34n03.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

KAWATOKO, I. E. S.; RIZK, M. C. Propostas de tratamento para o lodo de reciclagem de papel em uma indústria de pequeno porte. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal,

v. 8, n. 1, p.52-68, mar. 2011. Disponível em:

<<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1492&artid=517&mode=pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p. Disponível em:

<[marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf](http://marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecol. Bras.**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p.355-381, jul. 2008. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2882847.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

MARION, L. F. **Avaliação da qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares em sistema de cultivo convencional e de bases ecológicas, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil**.

2011. 85 f. Dissertação - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul-RS, 2011. Disponível em:

<[www.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/dissertacao\\_marion.pdf](http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/dissertacao_marion.pdf)>. Acesso em: 03 maio 2016.

MARCHINI, A. E.; MACHADO, V. R.; STÜLP, S. Avaliação preliminar do potencial de reúso de efluente gerado em indústria de alimentos degradado por via fotoquímica. **Tecno - Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p.67-72, dez. 2011. Disponível em:

<<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/viewFile/2133/1681>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. A dinâmica de metais-traço no solo. **R. Bras. Agrobiologia**, Pelotas, v. 17, n. 4, p.383-391, set. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/.../1910>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

MELLO, F. Z. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Curitiba, v. 34, n. 1, p.39-43, abr. 2009. Disponível em:

<<https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/.../aimportanciadamesoemacrofaunadosolo.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2017.

MIRANDA, R. E. S. **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**. 2008. 37 f. TCC - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2008. Disponível em:

<[www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia\\_Roselane.pdf](http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Roselane.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2016.

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba-SP, v. 12, n. 48, p.18-27, dez. 1995. Disponível em:

<[www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap03.pdf](http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap03.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2016.

NEVES, L. C. **Aplicação de microfiltração e ultrafiltração como pós-tratamento de efluente de lodo ativado em uma indústria de papel e celulose**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-oeste, Unicentro- PR, Irati, 2014. Disponível em: <[http://tede.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/tede/468/1/PR\\_LUDMILA\\_CARVALHO\\_NEVES.pdf](http://tede.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/tede/468/1/PR_LUDMILA_CARVALHO_NEVES.pdf)>. Acesso em: 03 maio 2017.

NAHMANI, J.; HODSON, M.E.; BLACK, S. A review of studies performed to assess metal uptake by earthworms. *Environmental Pollution*, v.145, p.402-424, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749106002818>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

NATAL-DA-LUZ, T.; RIBEIRO, R.; SOUSA, J. P. Avoidance tests with collembola and earthworms as early screening tools for site-specific assessment of polluted soils. *Environmental Toxicology And Chemistry*, S.1, v. 23, n. 9, p.2188-2193, ago. 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/8335909\\_Avoidance\\_tests\\_with\\_Collembola\\_and\\_earthworms\\_as\\_early\\_screening\\_tools\\_for\\_site-specific\\_assessment\\_of\\_polluted\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/8335909_Avoidance_tests_with_Collembola_and_earthworms_as_early_screening_tools_for_site-specific_assessment_of_polluted_soils)>. Acesso em: 07 maio 2017.

NATAL-DA-LUZ, T.; TIDONA, S.; VAN GESTEL, C.A.M.; MORAIS, P.V.; SOUSA, J.P. The use of Collembola avoidance tests to characterize sewage sludges as soil amendments. *Chemosphere*, [S.L.] v. 77, n. 11, p.1526-1533, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509011485?np=y>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

NIVA, C. C.; NIEMEYER, J. C.; SILVA JÚNIOR F. M. R.; NUNES, M. E. T.; SOUSA, D. L.; ARAGÃO, C. W. S.; SAUTTER, K. D.; ESPINDOLA, E. G.; SOUSA, J. P.; RÖMBKE, J. Soil ecotoxicology in Brazil is taking its course. *Environmental Science and Pollution Research*, [S.L.], abr. 2016. Disponível em: <Springer Science + Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6597-1>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, G. N.; SILVA, R. F.; VIEIRA, H. D. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. *Inter Science Place*, S.1, v. 2, n. 4, p.56-75, jan. 2009. Disponível em: <<http://www.interscienceplace.org/isp/index.php/isp/article/view/35/34>>. Acesso em: 25 maio 2017.

PAIVA, S. N. **Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil**. 2007. 111 f. Dissertação - Curso de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12062007-105628/pt-br.php>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

PINHEIRO, R. M. **Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica vermelha**. 2008. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2008. Disponível em: <[uenf.br/Uenf/Downloads/PosMateriais\\_4042\\_1221761815.pdf](http://uenf.br/Uenf/Downloads/PosMateriais_4042_1221761815.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2016.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa, 2008. 9 p. Disponível em: <[www.cnpma.embrapa.br/download/circular\\_19.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

RODRIGUES, L. C. A.; BARBOSA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B. S.; BEIJO, L. A.; KUMMROW, F. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 17, n. 10, p.1099-1108, jul. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n10/12.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2017.

RODRIGUES, N. L. V. B.; PAWLOWSKY, U. Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe II A – não inertes e classe II B – inertes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 12, p.46-57, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522007000100002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000100002)>. Acesso em: 05 abr. 2016.

SANTOS, J. L. **Plano de gerenciamento de resíduos sólidos Logmade produtos florestais Ltda**. 2012. 31 f. Tese - Curso de Pós-Graduação em MBA em Gestão Ambiental Departamento da Economia Rural e Extensão. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <[dspace.c3sl.ufpr.br/.../R - E - JOSIANE LIMA%2](http://dspace.c3sl.ufpr.br/.../R - E - JOSIANE LIMA%2)>. Acesso em: 16 abr. 2016.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica do uso de dejetos de suínos em solos de Santa Catarina**. 2012. 130 f. Dissertação - Curso de Mestrado em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-13082012.../Julia\\_Cora\\_Segat.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-13082012.../Julia_Cora_Segat.pdf)>. Acesso em: 08 maio 2017.

SÉKULA, P. R. **Uso de modelo de referência para melhoria do processo de fabricação de papel kraft**. 2011. 123 f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/181/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K. Avaliação de substratos para reprodução de colêmbolos nativos em condições de laboratório. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p.265-269, set. 2007. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1958/1212>>. Acesso em: 24 maio 2017.

SISINNO, C. L. S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 19, p.369-374, maio 2003. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/csp/v19n2/15402.pdf](http://www.scielo.br/pdf/csp/v19n2/15402.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2016.

SISINNO, C.L.S; BULUS, M. R. M.; RIZZO, A. C.; MOREIRA, J. C. Ensaio de Comportamento com Minhocas (*Eisenia fetida*) para Avaliação de Áreas Contaminadas: Resultados Preliminares para Contaminação por Hidrocarbonetos. **Journal of the Brazilian Society Of Ecotoxicology**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.137-140, 2006. Ecotoxicology and

Environmental Contamination. <http://dx.doi.org/10.5132/jbse.2006.02.009>. Disponível em: <[www.ecotoxbrasil.org.br/index.php?...395%3](http://www.ecotoxbrasil.org.br/index.php?...395%3)>. Acesso em: 13 abr. 2016.

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa**. 2011. 170 f. Dissertação - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2011. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde...100539/.../simiao.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde...100539/.../simiao.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2016.

SOUZA, F. A.; AQUINO, A. M.; RICCI, M. S. F.; FEIDEN, A. **Compostagem**. Seropédica-RJ: Embrapa, 2001. 11 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/624199>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

VIEIRA, C. A. M. **Avaliação ecotoxicológica de lixiviados de lamas provenientes de estações de tratamento de águas. Capacidade de germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*)**. 2009. 94 f. Tese - Curso de Mestrado em Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal, 2009. Disponível em: <[http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2531/1/DM\\_CarlaVieira\\_2009\\_MEQ.pdf](http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2531/1/DM_CarlaVieira_2009_MEQ.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2017.

ŽALTAUSKAITĖ, J.; SODIENĖ, I. Effects of total cadmium and lead concentrations in soil on the growth, reproduction and survival of earthworm *Eisenia fetida*. **Ekologija**, [s.l.], v. 56, n. 1, p.10-16, 15 jul. 2010. Disponível em: <[http://www.gamtostyrimai.lt/uploads/publications/docs/407\\_a0b06456e4cb6664387d39b6a649134a.pdf](http://www.gamtostyrimai.lt/uploads/publications/docs/407_a0b06456e4cb6664387d39b6a649134a.pdf)>. Acesso em: 06 maio 2017.